

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA**

**ANÁLISIS HÍBRIDO PARA LA
IDENTIFICACIÓN ANUAL DE CAMBIOS EN
LA CUBIERTA DEL SUELO: LA CHINANTLA,
OAXACA, 2004-2005**

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE:
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A
IGNACIO PANIAGUA RUÍZ

Director de Tesis:
DRA. ISABEL RAMÍREZ RAMÍREZ



CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F. ENERO 2009.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

En un universo inmóvil, un principio del tiempo es algo que ha de ser impuesto por un ser externo al universo; no existe la necesidad física de un principio. Uno puede imaginarse que Dios creó el universo en, textualmente, cualquier instante de tiempo. Por el contrario, si el universo se está expandiendo, pueden existir poderosas razones físicas para que tenga que haber un principio. Uno aún podría imaginar que Dios creó el universo en el instante del *big bang*, pero no tendría sentido suponer que el universo hubiese sido creado antes del *big bang*. ¡Un universo en expansión no excluye la existencia de un creador, pero sí establece los límites sobre cuándo éste pudo haber llevado a cabo su misión!

Stephen W. Hawking

DEDICATORIA

A mis Padres, Agueda e Ignacio que me dieron vida y me forjaron junto a mis hermanos, enseñándonos que poniendo todo el empeño, coraje y fe por lo que se esta haciendo, es la mejor manera de cubrir las metas que nos hemos propuesto. Entregaron sus vidas velando por nosotros sin importar la adversidad en turno, y hasta ahora, nunca han bajado los brazos, derrochando empuje por que sus hijos estén bien. Su sacrificio es la manifestación más grande de amor hacia nosotros, sus hijos. El principal motor para terminar este documento, es precisamente el poder escribir estos renglones, en los cuales quiero declararles toda mi admiración, respeto y amor...

A mis hermanos Pablo, Andrés y Ricardo.

A Paola, mi compañera, cómplice, refugio, columna, me haz regalado mucha felicidad, te amo de a montón.

A mis amigos.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia a la Universidad Nacional Autónoma de México, mi alma Mater desde la preparatoria y a la cual le debo tanto mi preparación académica-profesional, como el darme la oportunidad de conocer a gente tan importante en mi vida.

A Isabel Ramírez Ramírez, quien aceptó ser la Directora de esta tesis, su ayuda, apoyo y confianza me dieron la pauta para conseguir terminar.

Armando Peralta Higuera, gran personaje en mi vida académica, a él le debo el hecho de verme inmiscuido en esto de los Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota, siempre con un comentario agradable del cual algo se puede aprender. Le agradezco que haya compartido conmigo sus conocimientos, los cuales motivaron el inicio en mi carrera laboral como profesionista, y que además tengo la fortuna de que haya aceptado ser sinodal de este documento.

A mis sinodales de tesis, Jean Francois Mas Causel, Yan Gao y José Antonio Navarrete Pacheco, que dentro del mundo de cosas interesantes que tienen que hacer a diario, dedicaron parte de su tiempo en leer, comentar y corregir este documento, agradezco su valiosa ayuda en el diseño de este trabajo.

Jorge Carranza, por permitirme aprender, desarrollar y aplicar ideas dentro del Sistema de Información Geográfica de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Agradezco todo su apoyo, comentarios, observaciones y valiosas aportaciones, pues finalmente él ha sido el guía de este documento.

A Mireya por ser mi enlace con la Oficina de Coordinación de Geografía de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, sin su ayuda, esto, definitivamente hubiera sido más difícil. Muchas gracias Mireya.

Blanca Patricia Velasco Tapia y su bebe Angélica, por siempre tener una pregunta con la cual debo de esforzarme, investigar, leer, preguntar más adelante para finalmente dar una respuesta, y dentro de ese proceso, he aprendido cosas nuevas. Muchas gracias por preguntar y por ser como eres conmigo.

Grupo de amigos de la carrera: Rulas y Anita, Rodolfo, Emilio, Paquito, Erika de la Torre, Octavio, Verena, pues hicieron que mi etapa como estudiante fuera muy divertida, y hasta ahora muchos de ustedes sé que están cerca, sin importar que la distancia me marque lo contrario.

Omar y Leonel, por demostrarme que lo único que se necesita es una oportunidad para explotar las capacidades con las que contamos y hacerlas crecer a diario con el aprendizaje constante, si así lo deseamos y nos lo permitimos.

Abigail por ser el condimento especial de toda esta ensalada, gracias por mostrarme que se puede llegar hasta donde nos demos el permiso, el secreto es no dejar de hacer lo que se pretende terminar, y cuando se consigue, alzar la vista para buscar que es lo que hay más adelante.

Ximena, Beatriz, el buen Quique y Héctor, muchas gracias por su confianza, por compartir con Paola y conmigo la felicidad que existe dentro de su hermosa familia.

Muchas gracias a ti Paola, por compartir tu vida conmigo, por regalarme de esos momentos donde aunque no quiera, me arrancas una sonrisa aliviando un tanto el instante difícil. Gracias por complementarme y apoyarme en lo que hago, te amo por montones.

Infinito agradecimiento a mis Padres y Hermanos. Sé que cuento con ustedes siempre.

INDICE

Capítulo 1 Introducción.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	3
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivos Generales	7
1.3.2 Objetivos Particulares.....	7
1.4 Justificación	8
1.5 Descripción geográfica	10
1.5.1 Área de estudio	10
1.5.2 Límite del área de estudio	12
1.5.3 Clima	13
1.5.4 Edafología	15
1.5.5 Hidrología.....	16
1.5.6 Regiones fisiográficas	18
1.4.7 Vegetación	20
Capítulo 2 Marco Teórico Metodológico	23
2.1 Percepción remota	23
2.1.1 Sensores Remotos.....	24
2.1.2 Imágenes de Satélite	27
2.1.3 Imágenes SPOT.....	28
2.1.4 Procesamiento digital	29
2.1.5 Análisis Visual.....	33
2.2 Detección de cambios en las cubiertas del suelo	33
2.2.1 Cálculo de Tasa de Transformación en las cubiertas del suelo ..	40
Capítulo 3 Materiales y Métodos.....	42
3.1 Materiales.....	42
3.1.1 Imágenes SPOT.....	42
3.1.2 Modelo Digital de Elevación (MDE).....	44
3.1.3 Mosaico LANDSAT ETM ortorectificado.....	44
3.1.4 Cobertura de Vegetación y Uso de Suelo del INEGI Serie II.....	45
3.2 Métodos.....	47
3.2.1 Ortorectificación.....	49
3.2.2 Clasificación automatizada e interpretación visual	50
3.2.3 Detección de cambio 2004-2005	57
Capítulo 4 Resultados y Discusión	58
4.1 Resultados	58
4.1.1 Ortorectificación de imágenes SPOT del 2004 y 2005.....	58
4.1.2 Clasificación automatizada.....	61
4.2.1 Cubierta del suelo 2004	66
4.2.2 Cubierta del suelo 2005	70
4.2.3 Análisis de Cambio de la Cubierta del Suelo 2004-2005	74

4.2.4 Tasa de Transformación.....	81
4.3 Discusión	83
BIBLIOGRAFÍA	86
ANEXO.....	92

\m/(-_-)\m/

Capítulo 1 Introducción

1.1 Introducción

El trabajo que aquí se presenta, es parte del proyecto “Manejo Integrado de Ecosistemas en 3 Ecoregiones Prioritarias” (MIE), bajo el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP). Este ha sido desarrollado con información y equipo de cómputo de la Subdirección de Análisis de Información Espacial (SAIE) de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), ubicada en oficinas de Región Occidente, Morelia, Michoacán.

El proyecto MIE tiene como objetivo proteger la biodiversidad y sustentar funciones ecológicas vitales dentro de las tres ecoregiones, las cuales presentan una importancia global: el Bosque Húmedo de Tehuantepec, los Bosques Tropicales Secos del Pacífico y el Bosque de Pino-Encino de la Sierra Madre del Sur. Estas ecoregiones contienen una gama de comunidades de bosques que comprenden bosques de pino, bosques de pino-encino, bosques mesófilos de montaña, selvas tropicales (selvas altas perennifolias), selvas secas (selvas bajas caducifolias) y manglares, los cuales proporcionan hábitat a fauna nativa, actúan como depósitos de carbono y protegen las cuencas hidrográficas (PNUD, 2001). Sin embargo, dichas ecoregiones enfrentan una serie de amenazas que ponen en riesgo su integridad y funciones ecológicas.

El proyecto se aplica en tres ecoregiones: Chinantla, en el estado de Oaxaca, La Montaña, en Guerrero; y Los Tuxtlas, en Veracruz. Se espera como resultado un modelo piloto de manejo integrado de ecosistemas que sea replicable en otras ecoregiones prioritarias del país. El objetivo es

establecer un marco institucional para desarrollar las capacidades locales para manejar un mosaico de usos del suelo y de los recursos que no dañe la biodiversidad, e incluya sistemas compatibles agroforestales y agrosilvopastoriles y restauración ecológica. Se prevén varias intervenciones entre los sectores para eliminar las barreras a un manejo integrado de los ecosistemas.

Para cubrir los objetivos cartográficos dentro del proyecto MIE, fue necesario utilizar los Sistemas de Información Geográfica (SIG), debido a la capacidad de sus herramientas las cuales permiten el análisis de la realidad, al relacionar la información espacial de un punto determinado y los atributos de los elementos o fenómenos que los comprenden. Los SIG son un conjunto de procedimientos y procesos analíticos, manipulados por especialistas, que frecuentemente se complementan con las imágenes operadas con técnicas de Percepción Remota (PR).

De acuerdo con los términos de referencia del proyecto, se tiene que realizar un monitoreo continuo sobre los posibles cambios en las cubiertas del suelo. Por esta razón, el periodo de análisis es de un año (2004-2005). El insumo principal para el desarrollo de este trabajo, fueron las imágenes del sensor SPOT 5, las cuales fueron solicitadas a la SAIE de la CONANP, pues es dependencia autorizada de la Estación de Recepción México de la Constelación SPOT (ERMEXS) para el manejo de este tipo de información.

Para generar la información que sirvió de base para el análisis de cambio, se utilizaron métodos de clasificación automatizados complementados con la interpretación visual asistida en pantalla tanto en

formato Raster como Vectorial, aprovechando de esta forma las capacidades que ofrecen los software utilizados en este trabajo (ERDAS Imagine y Arcinfo).

En este documento se presenta únicamente la cartografía generada a partir de imágenes de satélite del sensor SPOT 5 de los años 2004 y 2005 a una escala 1:50,000, de las cubiertas del suelo de la ecoregión La Chinantla, así como un mapa de cambio del periodo, pues esta investigación es parte del inventario y evaluación del área. El proyecto MIE usará los resultados a fin de llevar a cabo un ordenamiento bien documentado y, en particular, con la intención de establecer prioridades para las áreas que requieran medidas de conservación de la biodiversidad o de restauración de corredores: de forma que se conserve una muestra representativa de hábitats.

El mapa de cambios que se espera como resultado, debe de presentar únicamente los más relevantes (cambios severos: incendios, abandono de parcelas, nuevas parcelas agrícolas, etc), pues al ser un periodo de análisis corto, es imposible detectar transformaciones que requieran de mayor tiempo para poder ser identificadas sobre imágenes de satélite (por ejemplo la tala hormiga).

1.2 Antecedentes

En México el interés por conocer la superficie cubierta por distintos tipos de usos y vegetación ha generado distintos trabajos de investigación al respecto. La SEMARNAT (2002), menciona tres trabajos hechos a nivel nacional, el primero de ellos es la Cartografía de uso actual del suelo y

vegetación INEGI serie I, elaborada con fotografías aéreas tomadas en el periodo 1968-1986 y que en base a un análisis de frecuencia se identificó la fecha promedio y su desviación estándar determinando que 1976 fuera el año a utilizar para estimaciones, predicciones y análisis de tendencias (Velazquez, 2002). INEGI Serie II mosaico corregido, preparado a partir de imágenes de satélite de 1993. El mas reciente trabajo es el Inventario Forestal Nacional 2000 (IFN 2000) basado en imágenes LANDSAT ETM+.

Por otra parte, la Red de Monitoreo de Políticas Publicas (2006), hace mención del Inventario Forestal Nacional, marcando al primero del 1961 a 1986, a partir de fotografía aérea. Por el periodo de trabajo, se considera un estudio poco preciso; el siguiente en el año 1991 a partir de imágenes de satélite de baja resolución escala 1:1,000,000 sin trabajo de campo, el cual actualizó al primer inventario. De 1992 a 1994 se realizó el tercer inventario a partir de la combinación de los mapas de uso de suelo y vegetación de INEGI Serie I y una interpretación visual de imágenes del satélite Landsat con interpretación adicional en campo, obteniendo resultados de localización y extensión de los tipos de uso de suelo y vegetación para tres cuartas partes del territorio nacional.

De acuerdo a los datos de vegetación y uso de suelo serie II (1993) comparado con el IFN 2000, se perdió la masa forestal a una tasa de más de un millón de hectáreas anuales (SEMARNAT, op. Cit), y el tipo de vegetación que resulta con mayores cambios son las selvas que se pierden con una tasa del 1.58% anual. Mientras que las actividades humanas (agricultura, ganadería, pastizales) crecieron a un ritmo del 4.07%. La SEMARNAT reporta que entre los datos de vegetación serie I y II no son tan grandes las tasas de cambio, lo que hace pensar que las mayores modificaciones se dieron en la comparación de las dos últimas fechas, o

también que la serie II, no dio cuenta de todos los cambios ocurridos del 1976 a 1993 (Velázquez, 2002).

El IFN ha permitido conocer la cubierta forestal y el volumen maderable disponible, así como su distribución espacial, este enfoque se ha ido complementando con una visión ecológico-ambiental e integral del recurso forestal incluyendo además una valoración del recurso no maderable y de los servicios ambientales. El nuevo marco conceptual del Inventario Forestal Nacional 2000-2001 buscó obtener información que serviría de base para otras gestiones ambientales, como son el cambio de uso del suelo, la estrategia de conservación de áreas naturales protegidas, la determinación de regiones de alto riesgo y en general de apoyo a la gestión de diversos programas federales y estatales (UNAM, 2000).

En el trabajo elaborado por Velázquez, (op. cit.) sobre la "Regionalización Ecológica a nivel regional (Escala 1:250,000 y 1:100,000). Análisis del cambio de uso del suelo", se menciona que las selvas seguidas de la vegetación hidrófila, los pastizales naturales, los matorrales y los bosques son las formaciones que más terreno pierden proporcionalmente. Cabe destacar que los cultivos junto con los pastizales inducidos y cultivados representan actualmente más de 41 millones de hectáreas (21% del territorio nacional); esta cifra se sigue incrementando a tasas de conversión superiores a las que se observan en el resto de los países intertropicales. Esto sólo es superado por Brasil, aunque las estadísticas para otros países no permiten una comparación confiable.

Para La Chinantla, de acuerdo con Guadarrama (2003), durante la década de los setentas después del establecimiento de la presa Miguel Alemán y en los ochenta por la presa Miguel de la Madrid, provocó que se

presentaran considerables cambios en las cubiertas del suelo, pues el desplazamiento masivo por la reubicación de gente, fue inminente. Se establecieron cultivos como la caña y pastizales para uso ganadero: el principal tipo de vegetación afectado fue la selva alta y en segundo lugar las selvas medianas y los bosques mesófilos.

El antecedente más próximo a este documento, es el trabajo que se realizó en el año 2004 en la SAIE de la CONANP. Se obtuvieron datos de superficie de las cubiertas del suelo para un análisis multitemporal, utilizando imágenes de satélite del sensor LANDSAT MSS, TM y ETM+, para obtener la Tasa de Transformación (Velasco y Cruz, 2005).

En la Tabla 1.1, se muestran los datos de superficie adquirido de la imagen de satélite LANDSAT ETM+ del año 2003, los cuales son números oficiales para el proyecto Manejo Integrado de Tres Ecoregiones.

USO DE SUELO Y VEGETACION	LANDSAT 2003	
	Ha	%
CATEGORIAS		
Bosque de pino	80	0.02
Bosque de encino	5,488	1.19
Bosque de pino-encino	3,750	0.82
Bosque mesófilo de montaña	45,373	9.87
Selva alta y mediana perennifolia	124,784	27.16
Bosque de pino con vegetación secundaria	467	0.10
Bosque de pino-encino con vegetación secundaria	6,020	1.31
Bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria	8,518	1.85
Selva alta y mediana perennifolia con vegetación secundaria	113,589	24.72
Agricultura de temporal	47,322	10.30
Agricultura de riego	9,818	2.14
Áreas impactadas por incendios	13,850	3.01
Pastizales	60,122	13.08
Asentamientos humanos	1,389	0.30
Cuerpos de agua	18,916	4.12
TOTAL	459,486	100.00

Tabla 1.1. Superficie de vegetación y uso de suelo adquirido de imágenes LANDSAT ETM+

De acuerdo con la tabla anterior, la mayor parte de la superficie forestal se encuentra cubierta por la Selva alta y mediana perennifolia, la cual también ha sido la más afectada, pues es la que se marca con mayor superficie con vegetación secundaria, categoría que abarca a las comunidades de plantas que se establecen como consecuencia de la destrucción parcial o total de la vegetación primaria. Son comunidades transitorias y dan lugar a etapas de reestablecimiento (Tun, 2004). El Bosque mesófilo de montaña es la segunda categoría forestal con mayor extensión en la región. A lo que se refiere al bosque de pino, encino y pino-encino, no es muy representativa su existencia hablando en términos de superficie.

La cobertura forestal de la región La Chinantla en el año 2003, era el 39%. La vegetación primaria con vegetación secundaria, el total de superficie cubierta por estas categorías era del 28%. Las categorías de actividades humanas cubren el 26%. Por último, las áreas impactadas por incendios y las que son ocupadas por cuerpos de agua, marcan el 7%.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos Generales

- Desarrollar un método eficiente y replicable para el monitoreo anual de cambio en las cubiertas del suelo.

1.3.2 Objetivos Particulares

- Utilizar las potencialidades de las técnicas de clasificación automatizada y las ventajas de la interpretación visual en pantalla para la generación de la cartografía.

- Generar la cartografía de uso de suelo y vegetación para los años 2004 y 2005 de la región La Chinantla utilizando imágenes del sensor SPOT5.
- A partir de la cartografía de uso de suelo y vegetación de los años 2004 y 2005 de la Chinantla, generar el mapa de cambio.
- Generar Matriz de Cambio de cubiertas.
- Determinar la tasa de cambio para el periodo 2004-2005 de la ecoregión La Chinantla, utilizando imágenes de satélite SPOT 5.
- Evaluar la capacidad de las imágenes SPOT para identificar cambios anuales en las cubiertas del suelo.

1.4 Justificación

México es uno de los países biológicamente más ricos del mundo. Los factores que determinan dicha riqueza se encuentran en su accidentada topografía, variedad de climas y la situación geográfica y biológica. Gran parte del territorio mexicano está forestado, y los bosques desempeñan varias funciones ecológicas vitales, entre las que destacan el almacenamiento y acumulación de carbono, mantenimiento de ciclos hidrológicos y estabilización de suelos. A pesar del valor ecológico, los bosques de México se están perdiendo a un ritmo alarmante, los ecosistemas han sido modificados tanto por factores naturales como por el hombre en un lapso de tiempo corto. Un ejemplo de esto son las selvas, las cuales han sido explotadas por diversos sectores de la industria, y más aún han sido transformadas en áreas agropecuarias (UNAM, 2000). En 1984 el aprovechamiento comercial de las selvas representaba más de la tercera parte del bosque comercial del país, donde llegaba a producirse prácticamente el 90% de toda la madera tropical comercial (Ruiz y Gómez, 1987). Se estima que las selvas mexicanas cubrían alrededor de un

20% de la superficie nacional, y que entre 1976 y 1980 la deforestación anual de éstas fue de 160,000 ha/año (Maser et al. 1997).

Tradicionalmente, los bosques han sido uno de los recursos naturales más importantes para la humanidad. Estos proporcionan fuentes de energía y materias primas, al mismo tiempo que suministran diversos servicios ambientales. Sin embargo, la acelerada pérdida de los bosques es uno de los problemas ambientales de mayor importancia en el mundo, por lo tanto es necesario realizar estudios de los cuales se obtenga una situación en línea de base del estado actual de este importante recurso y su manejo (UNAM, 2000).

De acuerdo con Chuvieco (2002), para un análisis del cambio en las cubiertas del suelo se requiere que las imágenes de satélite tengan las siguientes características básicas:

- Escala Temporal amplia. Es periodo de análisis suficiente que permita detectar cambios en las cubiertas del suelo.
- Resolución Espacial similar. Para facilitar la detección de cambios en escalas similares.
- Máximo 10% de presencia de nubes.

De acuerdo con lo anterior, el periodo de análisis de este trabajo (2004-2005) presenta una resolución temporal muy corta, por lo cual se complica la identificación de cambios de las cubiertas del suelo. Sin embargo, debido a las circunstancias del proyecto y atendiendo a los objetivos de este trabajo, se pretende obtener los resultados de

transformación dentro de un periodo corto y de esta forma determinar si las imágenes del sensor SPOT son aptas para el monitoreo anual de cambios en la cubierta del suelo.

Como antecedente de un análisis similar, encontramos que después del terremoto en Chi-Chi Taiwán, ocurrido el 21 de septiembre de 1999, se realizó un análisis de cambio de las cubiertas del suelo a partir de imágenes SPOT con una escala temporal de 10 meses (primera fecha 1º de Abril, segunda fecha 1º de octubre de 1999). Utilizaron técnicas de comparación entre las bandas Roja e infrarrojo y el umbral en niveles de gris de cada fecha, y de acuerdo a sus resultados, consiguieron una acertada detección de cambios (Yu-Chuan et al. 2000).

En el caso de La Chinantla, se pretende medir la situación actual de la cubierta vegetal respecto a la presión de los factores humanos y naturales que han generado cambios, los cuales serán obtenidos al momento de cruzar información cartográfica de las dos fechas (2004-2005).

1.5 Descripción geográfica

1.5.1 Área de estudio

La región de Chinantla, se encuentra en el norte del estado de Oaxaca, cubre una superficie de 459,489 ha, se localiza en tres de las regiones que Irazoque delimitó para el Plan Oaxaca (1964-1968) proyecto de las Naciones Unidas a través de la FAO en el que divide al estado en 8 regiones: Istmo, Valles Centrales, Sierra Sur, La Mixteca, la Costa, Papaloapan, La Cañada y Sierra Norte, la región La Chinantla se encuentra en estas tres últimas (Fig. 1.1 y 1.2).



Figura 1.1 Localización del área de estudio

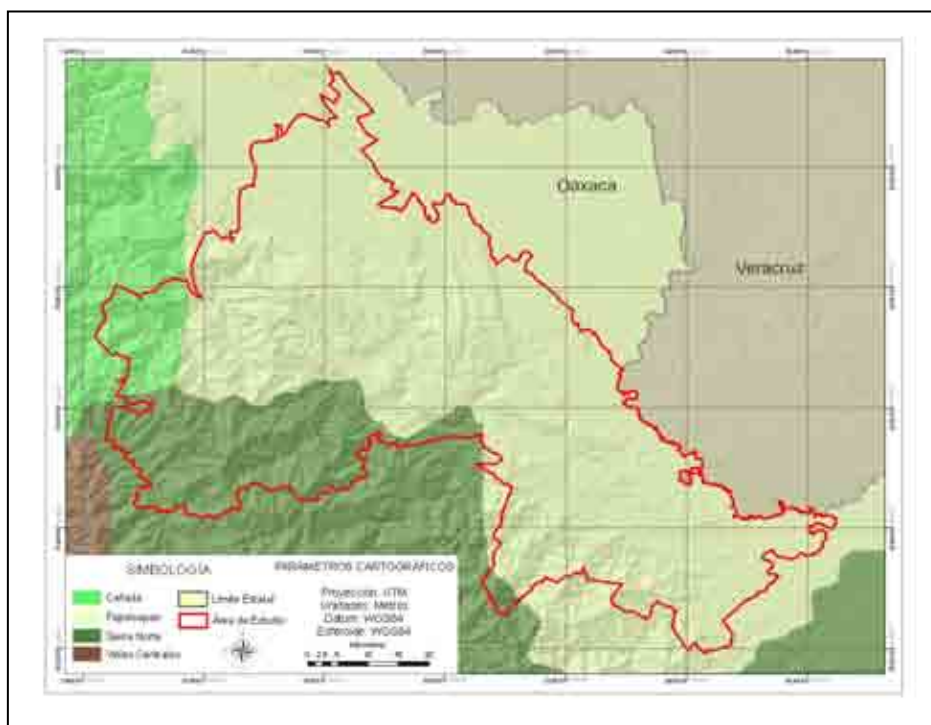


Figura 1.2 Regiones Naturales FUENTE: Gobierno de Oaxaca

1.5.2 Límite del área de estudio

La delimitación del área de estudio, de acuerdo con el proyecto MIE, se generó a partir de los límites políticos municipales. El polígono limítrofe de la región La Chinantla incluyendo los municipios que la conforman se pueden observar en la figura 1.3.



Figura. 1.3 Delimitación del área de estudio a partir de límites municipales

Los 15 municipios del estado de Oaxaca que se utilizaron para delimitar el área de estudio, se listan en la Tabla 1.2. Incluye la superficie cubierta por municipio. La información fue adquirida de la capa de Municipios del INEGI (MGM-II, conteo 2005).

MUNICIPIO	Sup. en ha
Ayotzintepec	12,852
San Felipe Usila	45,325
San José Chiltepec	18,527
San Juan Bautista Tlacoatzintepec	4,638
San Juan Bautista Valle Nacional	63,437
San Juan Lalana	67,420
San Juan Petlapa	20,032
San Juan Quiotepec	19,798
San Lucas Ojiltlán	58,485
San Pedro Sochiapam	18,009
San Pedro Yolox	12,497
Santa Marja Jacatepec	33,113
Santiago Cho pam	1,499
Santiago Comaltepec	19,384
Santiago Jocotepec	64,472
TOTAL	459,489

Tabla 1.2 Municipios región La Chinantla

1.5.3 Clima

De acuerdo al mapa de climas (Fig. 1.4) de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), apegada a la clasificación de Köppen modificada por García a escala 1:1, 000,000, considerando los datos del Sistema Meteorológico Nacional, la Comisión Federal de Electricidad y Comisión Nacional del Agua, en La Chinantla se presentan los siguientes climas listados en la tabla 1.3 (ver ANEXO):

(A)C(fm)	Semicálido húmedo
(A)C(m)(f)	Semicálido
(A)C(m)	Semicálido húmedo
(A)C(w2)	Semicálido subhúmedo
(A)C(wo)	Semicálido subhúmedo
A(f)	Cálido húmedo
Am(f)	Cálido húmedo
Am	Cálido húmedo
BSo(h')w	Árido cálido
C(m)	Templado húmedo

Tabla 1.3. Tipo de climas en La Chinantla

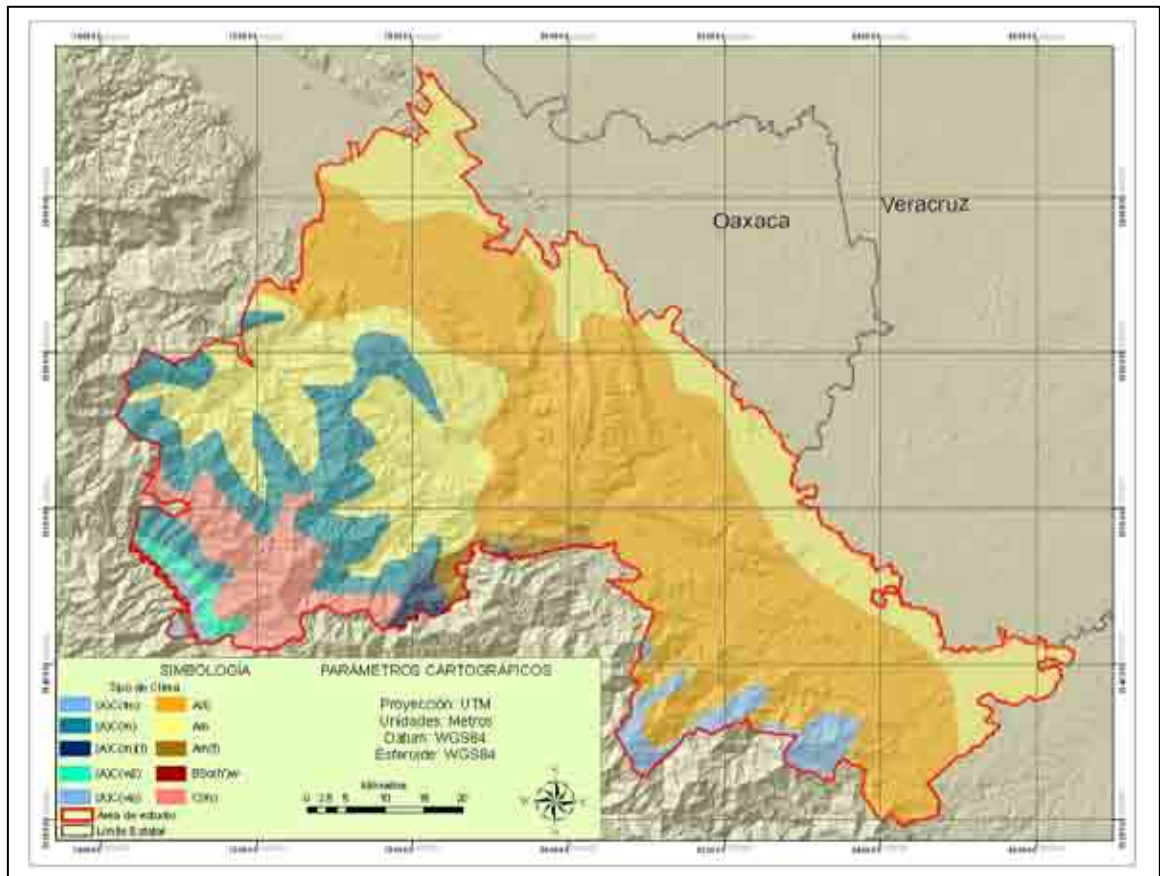


Figura 1.4. Tipos de clima en La Chinantla. FUENTE Climas Modificado por García, CONABIO 1998

1.5.4 Edafología

Dentro de la región La Chinantla se encuentran 17 tipos de suelos, de acuerdo con el “Mapa Edafológico” (Fig. 1.5) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1995) a escala 1:250,000 y 1:1,000,000.

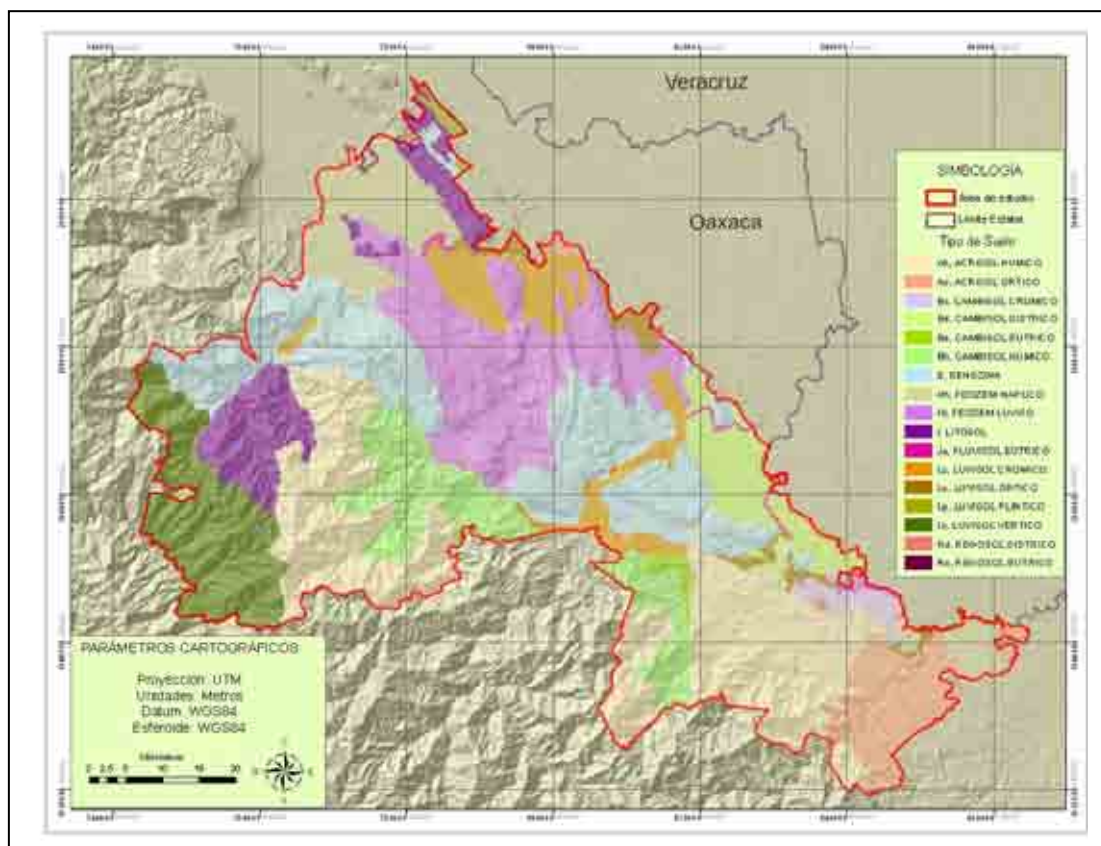


Figura 1.5. Edafología de la Chinantla. FUENTE Mapa Edafológico INIFAP-CONABIO 1995.

La descripción de las categorías de edafología se tomaron del Diccionario de Datos Edafológicos del INEGI, escala 1:250,000 (1998) (ver anexo). El diccionario muestra la forma en que la información vectorial contenida en la Carta Edafológica, se ha estructurado y descrito

conceptualmente (INEGI, 1998). Los tipos de suelo correspondientes a La Chinantla, de acuerdo con el INEGI, se muestran a continuación:

- A. Acrisol.
 - Ah, acrisol húmico.
 - Ao, acrisol órtico.
- B. Cambisoles.
 - Bc, cambisol crómico.
 - Bd, cambisol distrito.
 - Be, cambisol eutrítico.
 - Bh, cambisol húmico.
- E. Rendzina
- H. Feozems.
 - Hh, foezem hápilico.
 - Hl, Foezem lúvico.
- I. Litosol.
- J. Fluvisol.
 - Je, fluvisol éutrítico.
- L. Luvisol.
 - Lc, luvisol crómico.
 - Lo, luvisol órtico.
 - Lp, luvisol plíntico.
 - Luvisol vertico.
- R. Regosol.
 - Rd, regosol dístrico.
 - Re, regosol éutrítico.

1.5.5 Hidrología

La región de La Chinantla, es un área por si misma separada de las regiones vecinas por cadenas montañosas y se encuentra completamente

dentro de la cuenca del Río Papaloapan y sobre las laderas de la Sierra Madre Oriental, nutrida por un gran número de vías fluviales. Entre los principales ríos se pueden mencionar: Río Valle Nacional, Río San Cristóbal (Soyalapam), Río Cajones, Río La Lana, Río Chiquito, entre otros (Fig. 1.6).



Figura 1.6. Hidrología de la Chinantla. FUENTE INEGI 1:50,000

Dentro de la cartografía de hidrología, se incluye la presa “Miguel Aleman”, que de acuerdo al Consejo de Desarrollo del Papaloapan, se construyó para evitar inundaciones, las cuales se habían convertido recurrentes en la cuenca durante los años 1931, 1941 y 1944. Las obras de construcción de la presa, terminaron en el año 1958 (CODEPAP, 1999).

Mediante el Decreto Presidencial del 29 de agosto de 1972 se ordenó la construcción de la presa Cerro de Oro (posteriormente denominada Miguel de la Madrid), afectando principalmente a los municipios de San Lucas Ojitlán, San Felipe Usila, Valle Nacional,. Esta presa formaría parte de un sistema de siete presas diseñadas para el control de las aguas que fluyen en la Cuenca del Papaloapan. Además, la presa Cerro de Oro tendría como principal función la de ampliar el espejo de agua de la presa Miguel Alemán para agregar dos turbinas de generación eléctrica a la planta de Temazcal, al mismo tiempo que controlaría las inundaciones súbitas que afectaban a ganaderos, cañeros y pueblos de la cuenca baja del río Papaloapan en el estado de Veracruz (Melesio, 2002).

La construcción de ambas presas trajo consecuencias. La CODEPAP (1999) menciona como ventajas: el control de avenidas y generación de energía eléctrica, práctica de piscicultura y el potencial para desarrollar la agricultura y la ganadería por medio de sistemas de drenaje y de irrigación complementaria. Guadarrama (2003), por su parte, menciona algunas de las consecuencias negativas de dichas construcciones, de las cuales se pueden señalar que a partir de 1970, se dieron movimientos de la gente de localidades afectadas por la inundación para las presas. Estos desplazamientos impactaron directamente a la vegetación, pues forzosamente se tuvo que implementar un uso de suelo en los nuevos lugares de residencia.

1.5.6 Regiones fisiográficas

La gran diversidad de formas que presenta el relieve de México, hace que sea uno de los países del mundo con mayor número de

características y variedades topográficas contrastantes y heterogéneas, y poseedor de un gran potencial en recursos naturales. Las diversas conformaciones topográficas desempeñan un papel importante en las actividades económicas y sociales del país, puesto que influyen en las características climáticas, en el tipo de suelos y en la vegetación; éstos, a su vez, inciden en las actividades agrícolas, ganaderas, forestales e industriales, así como en la distribución de asentamientos humanos (INEGI, 2003).

Más del 80% de la ecorregión La Chinantla, se encuentra en la subprovincia *Sierras Orientales* dentro de **Sierra Madre del Sur**, mientras el resto se localiza en la subprovincia *Llanura Costera Veracruzana* de la provincia **Llanura Costera del Golfo Sur** (Fig. 1.7).

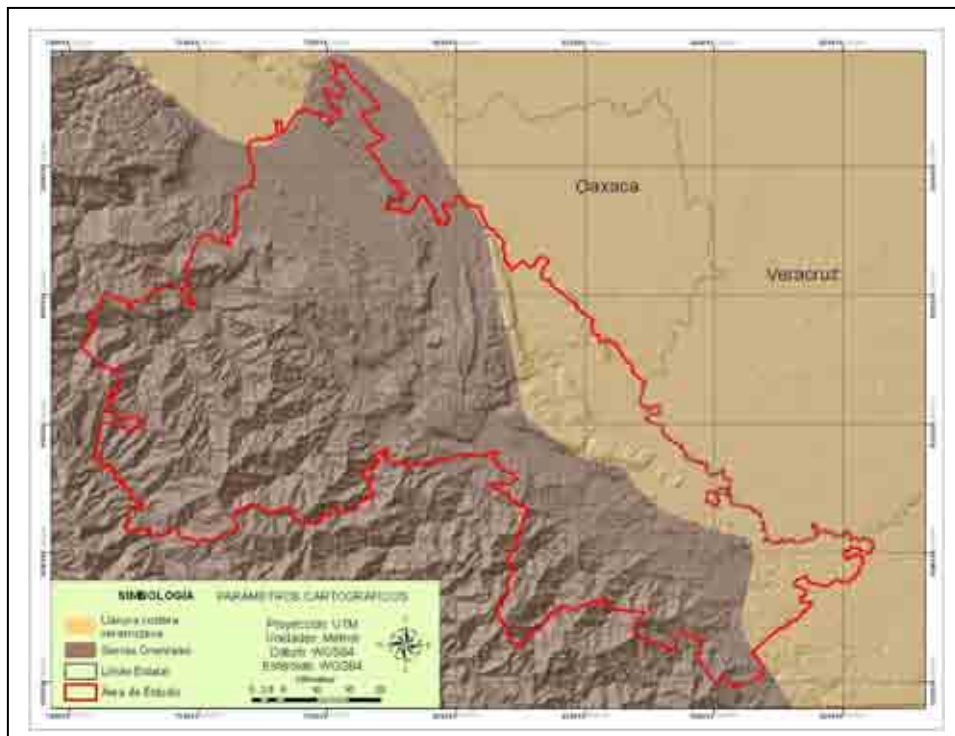


Figura 1.7. Regiones Fisiográficas. FUENTE Instituto de Geografía UNAM 1990

1.4.7 Vegetación

La Chinantla es una región fundamentalmente forestal, ya que poco más de la mitad de la superficie está cubierto de bosques y selvas en diferentes estados de conservación. De acuerdo con la cobertura de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI serie II, la región de La Chinantla está cubierta en su mayor parte por selva alta perennifolia (fig. 1.8), en la tabla 1.4 se muestran los porcentajes de superficie por categoría.

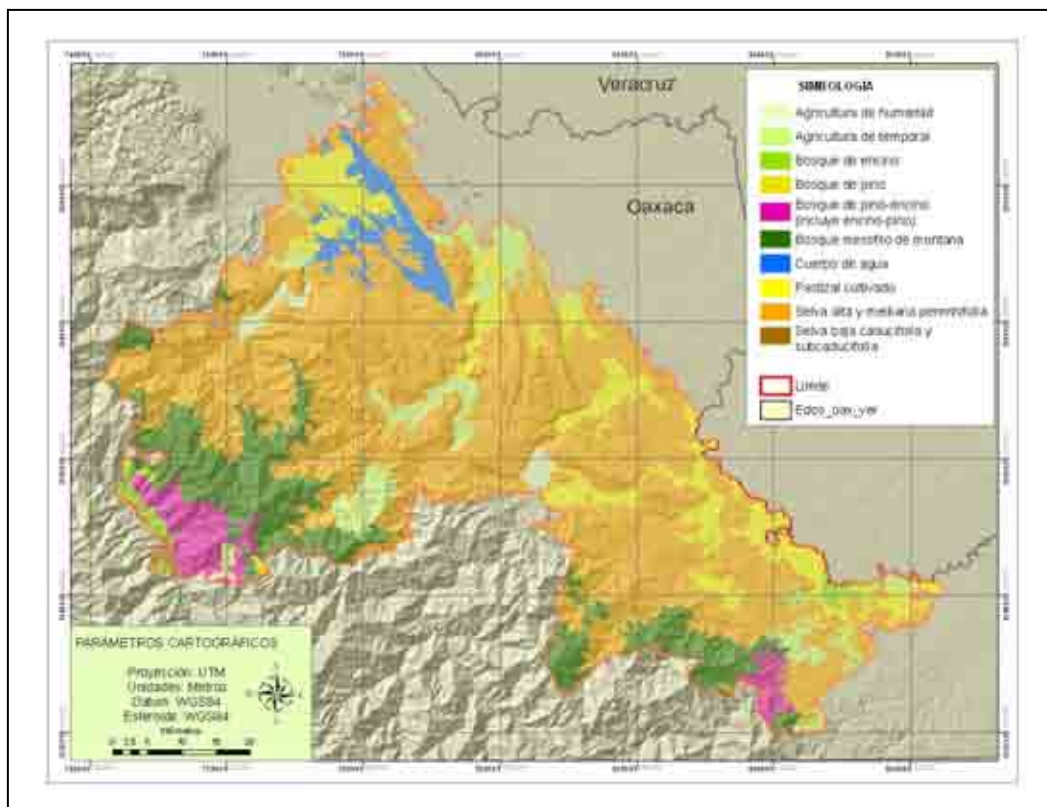


Figura 1.8. Uso de Suelo y Vegetación INEGI serie II

Categorías de Vegetación INEGI seriell	HA	%
Agricultura de humedad	4,295	0.93
Agricultura de temporal	29,954	6.52
Bosque de encino	4,890	1.06
Bosque de pino	344	0.07
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	16,778	3.65
Bosque mesófilo de montaña	59,853	13.03
Cuerpo de agua	13,938	3.03
Pastizal cultivado	49,180	10.70
Selva alta y mediana perennifolia	279,049	60.73
Selva baja caducifolia y subcaducifolia	1,206	0.26
TOTAL DE VEGETACIÓN	459,486	100.00

Tabla 1.4. Superficie uso de suelo y vegetación. FUENTE: INEGI 2000

De acuerdo con el INEGI la selva alta y mediana perennifolia se presenta en el 60% de La Chinantla con 279, 049 ha, mientras la selva baja caducifolia y subcaducifolia, junto con el bosque de pino, son las categorías de menos representación siendo únicamente el 0.26% y 0.07% respectivamente. El bosque mesófilo de montaña se marca con el 13% correspondiente a 59,853 ha y los bosques de encino, pino-encino el 4.71%. Las actividades humanas se marcan con las categorías de: agricultura de humedad con el 0.93%, agricultura de temporal 6.52% y pastizal cultivado 10.70% dando un total del 18.15% que corresponde a 83,428 ha de usos.

La Chinantla, a pesar del acelerado proceso de destrucción de los ecosistemas de selva a nivel del país y en el mundo, tiene más del 60 % de superficie con cobertura de selvas altas perennifolias. El deterioro es resultado de procesos de cambio de uso del suelo. La magnitud y velocidad de estos cambios no son iguales para toda el área de estudio. Factores que condicionan el desarrollo de actividades productivas, como la topografía, favorecen la sustitución de selvas por actividades agrícolas y

pecuarias; en terrenos ubicados sobre las planicies aluviales y llanuras de piedemonte donde se encuentran suelos fértiles y profundos.

Capítulo 2 Marco Teórico Metodológico

2.1 Percepción remota

Jorge Lira (1995), explica la percepción remota haciendo referencia al sistema visual humano. En principio, la vista humana funciona a partir de una fuente de iluminación (la luz emitida por el Sol, una lámpara), el objeto observado (todo lo que se encuentra dentro del paisaje), el cual refleja la luz emitida por la fuente de iluminación, y el sensor remoto (ojo humano) con el que se captura dicha luz reflejada, y finalmente la información captada es analizada por el sistema de procesamiento humano (cerebro), produciendo información valiosa en relación al paisaje (lo que se observa), la que es útil en la toma eventual de decisiones sobre el medido ambiente, y el apoyo de campo, que consiste en la inspección directa, en varios puntos selectos de la escena, de diferentes atributos de los objetos que se encuentran en el terreno, con el fin de evaluar los datos obtenidos previamente a distancia.

Por su parte Emilio Chuvieco (2002), habla de que la percepción remota no solo engloba los procesos para la adquisición información de la superficie terrestre a distancia, sino también el posterior procesamiento, en el contexto de una determinada aplicación.

Otra definición de percepción remota, puede ser la detección, reconocimiento o evaluación de objetos por medio de sensores a distancia (Franklin, 2001). El mismo autor menciona que esta definición sugiere que el aporte más importante de la percepción remota, es la conversión de la información recolectada a productos de información, por lo tanto, el verdadero valor y desafío de la percepción remota será

realizado durante la interpretación de la información y la subsiguiente aplicación.

Con lo anterior se puede concluir que la percepción remota es el registro de información captada a distancia a través de un sistema de observación (fuente de energía, cuerpo observado, sensor), para su procesamiento, evaluación y análisis de información para la interpretación y creación de nueva información, la cual servirá en el apoyo de tomas de decisiones.

2.1.1 Sensores Remotos

Los sensores son el instrumento con el cual se va registrando la energía reflejada por la superficie terrestre. Dichos sensores son transportados en plataformas (aviones o satélites) a distancia de la superficie terrestre.

Dependiendo de la forma de recibir la energía procedente de los distintos objetos, los sensores remotos se clasifican en 1) sensores pasivos, los cuales dependen de la radiación solar para captar la energía reflejada o emitida por fuentes naturales, y 2) sensores activos, los cuales generan su propia energía para iluminar los rasgos de interés y medir la radiación que regresa a ellos (Hori, 1998).

La resolución de un sistema sensor, es la habilidad que tiene para registrar información a detalle. Chuvieco (2002) explica que dicha información no sólo se refiere al detalle espacial, sino que existe la resolución espectral radiométrica y temporal, siendo estas las más habituales dentro del terreno de la percepción remota.

Resolución espacial. El objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen. La unidad mínima de información incluida en la imagen, se le denomina *píxel*.

Resolución espectral. Indica el número y amplitud de las bandas que puede discriminar el sensor, esto es, registrar simultáneamente el comportamiento de los objetos en distintas bandas del espectro.

Profundizando en el tema, se puede decir que de la energía reflejada, el sensor registra ciertos rangos de las longitudes de onda. El registro se hace en distintos rangos del espectro electro magnético y de acuerdo con Chuvieco (op cit.), desde el punto de vista de la percepción remota se pueden destacar una serie de bandas espectrales que son las más frecuentemente empleadas:

- o Espectro visible (0,4 a 0,7 μm). Radiación electromagnética que puede percibir el ojo humano. En esta región suelen distinguirse tres bandas, por lo general se dividen en azul (A, 0,4-0,5 μm), verde (V, 0,5-0,6 μm), y rojo (R, 0,6-0,7 μm).
- o Infrarrojo cercano (IRC, 0,7-1,3 μm). Utilizado para distinguir masas vegetales.
- o Infrarrojo medio (1,3 a 8 μm). En esta región se registran la reflexión de luz solar y emisión de la superficie terrestre. La primera banda se sitúa entre 1,3 y 2,5 μm y se denomina infrarrojo de onda corta (*Short Wave Infrared, SWIR*), ideal para detectar humedad en la vegetación o suelos. La segunda banda se encuentra cerca de los 3,7 μm , se le conoce como el infrarrojo medio (IRM), siendo determinante para la detección de focos de alta temperatura (Volcanes activos, incendios forestales).

- o Infrarrojo lejano o térmico (IRT, 8 a 14 μm), que incluye la porción emisiva del espectro terrestre, en donde se detecta el calor proveniente de la mayor parte de las cubiertas terrestres.
- o Micro-ondas (M, arriba de 1mm), es energía prácticamente transparente a los efectos atmosféricos.

Resolución radiométrica. Se refiere a la sensibilidad del sensor, es decir, la capacidad para detectar variaciones de radiancia espectral que recibe. Determina el número de tonos de gris registrados se expresa en niveles por píxel (Tabla 2.1), esto de acuerdo al número de BIT, que es la unidad de información binaria y de acuerdo a esto, será el número de Niveles de Gris registrados por el sensor. A mayor resolución radiométrica, mejor interpretación de la imagen.

Bits	Niveles de Gris	Rango B-N
1	2	0-1
2	4	0-3
3	8	0-7
4	16	0-15
5	32	0-31
6	64	0-63
7	128	0-127
8	256	0-255
9	512	0-511
10	1024	0-1203

Tabla 2.1. Resolución Radiométrica

Resolución temporal. El tiempo que el sensor capta las imágenes de la misma porción de la superficie terrestre. Esto está en función de las características orbitales de la plataforma (altura, velocidad e inclinación) y el diseño del sensor (ángulo de observación y ángulo de cobertura) (CIAT, 2001).

2.1.2 Imágenes de Satélite

Las imágenes de satélite representan las formas de captura indirecta de la información espacial. Tiene un valor proporcional a la reflectancia del suelo para el área de la imagen.

Las imágenes de satélite son la representación gráfica de un arreglo en forma de matriz en el que cada elemento corresponde al valor de una posición determinada (X, Y). Para las imágenes de satélite, el sensor detecta la radiación media de una zona del terreno equivalente al tamaño de la unidad visual más pequeña que aparece en la imagen, como ya se mencionó antes, se trata del píxel. Este valor medio es traducido por el sensor a un valor numérico entero, denominado Nivel Digital, que también es llamado valor de brillo, valor de píxel o escala de grises. Así se conforma una matriz con los valores registrados de norte a sur, en las filas, de occidente a oriente en las columnas de la matriz, y el arreglo de bandas determinado por la resolución espectral, que determinan el número de planos en la imagen según el número de bandas registradas por el sensor (Fig. 2.1)

Por la naturaleza del proceso de adquisición de estas imágenes de satélite, los objetos geográficos están contenidos en la imagen y para individualizarlos (para la reproducción de salidas en forma de mapas, informes, archivos digitales, etc.) es necesario recurrir a técnicas de procesamiento y de clasificación automatizada.

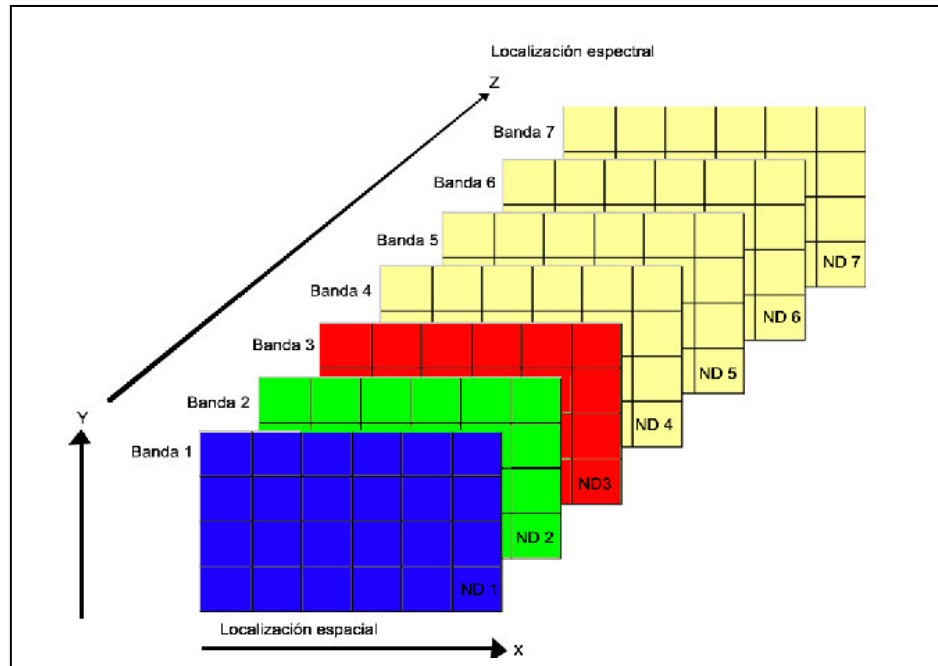


Figura 2.1. Representación de la imagen de satélite

2.1.3 Imágenes SPOT

El sistema *SPOT Image* está constituido por una constelación de tres satélites (2, 4 y 5) diseñados y lanzados por el Centro de Estudios Espaciales de Francia, con capacidad de captura de imágenes terrestres con media y alta resolución. La información adquirida mediante estas imágenes es utilizada para el conocimiento, control, previsión, gestión de recursos y las actividades humanas de nuestro planeta, esto a su vez representa un medio eficaz y económico aprovechable como herramienta de ayuda en la toma de decisiones (ERMEX, 2005).

Los satélites del sistema Spot (2, 4 y 5) permiten adquirir diariamente imágenes de cualquier punto del globo terrestre; tienen una resolución de 2.5 m, 5 m, 10 m y 20 m; una banda espectral pancromática, tres bandas

espectrales visibles: verde, rojo e infrarrojo cercano, y una banda del infrarrojo medio (MIR) para el análisis temático fino (SPOT Image, 2007).

2.1.4 Procesamiento digital

Puede ser definido como el conjunto de tecnologías orientadas a la recopilación y tratamiento de información espacial con un objetivo en específico (Carranza, 2007). Dichos tecnologías incluyen el uso de *hardware* y *software*, que permiten con las imágenes de satélite, visualizar, estudiar, y analizar el territorio con una facilidad y flexibilidad difícilmente abordable por otros medios.

El primer proceso, también llamado operaciones de pre-procesamiento (Rullan, 2002) consiste en corregir distorsiones o degradaciones de los datos de la imagen y crear una representación más fiel de la escena original; distorsiones geométricas a corregir de los datos crudos de la imagen, calibrar los datos radiométricamente y eliminar el ruido presente en los datos. Dicho proceso depende directamente de las características del sensor usado para adquirir los datos.

Georreferencia. Es una modificación geométrica de la imagen que pretende corregir los errores sistemáticos derivados de la rotación terrestre o de la inclinación de la órbita, parte de los datos orbitales del sensor y del relieve angular de la toma. Se trata del ajuste de la imagen a una cartografía básica o a otra imagen tomada como referencia; ambos casos requieren de tres pasos que son la localización de puntos de control o comunes a ambas imágenes o al mapa; aplicación de una función de transformación de las coordenadas de la imagen a las coordenadas de referencia, en este caso si la imagen es de un terreno muy accidentado

conviene utilizar el cálculo de una función polinomial más compleja (de segundo o tercer orden de manera conjunta con un Modelo Digital de Elevación), y por último pasar los valores de los Niveles Digitales de la imagen original a su nueva posición corregida mediante una de las tres funciones siguientes: el vecino más próximo, por interpolación bilinear o por convolución cúbica.

De acuerdo al INEGI (2005) el Modelo Digital de Elevación es un grupo de valores que representa puntos sobre la superficie del terreno cuya ubicación geográfica está definida por coordenadas "X" y "Y" a las que se les agrega un valor de "Z" que corresponde a la elevación. La coordenada "Z" es obtenida a partir de las de curvas de nivel vectorizadas de la carta topográfica escala 1:50 000 o por el método fotogramétrico de correlación de imágenes

Las variaciones topográficas en la superficie de la tierra y la inclinación del satélite o sensor afectan la distancia con la que se muestran las características en la imagen satelital o aérea. Cuanto más topográficamente diverso sea el paisaje, tanto mayor será la distorsión inherente en la imagen.

Para realizar una corrección Geométrica del efecto topográfico es preciso contar con un DEM. En el terreno de la corrección geométrica, el uso de los DEM implica habitualmente realizar rectificación diferencial, en donde cada Nivel Digital se trasfiera separadamente desde la imagen original a la resultante a partir de corregir la posición del píxel en función del desplazamiento debido al relieve (Pala y Pons, 1995).

Realce de la imagen. Se realiza para mejorar el aspecto al momento de hacer interpretaciones visuales. El realce de la imagen implica técnicas para el aumento de los rasgos distintivos entre características visuales. Chuvieco (2002) menciona la mejora del contraste, composiciones coloreadas, cambios de escala y filtrajes. El objetivo es aumentar la cantidad de información que puede ser visualmente interpretada.

Después las operaciones de pre-procesamiento, se aplica el tratamiento digital para generar información de la cubierta del suelo. Este método permite realizar operaciones complejas o inaccesibles al análisis visual. Garantiza una clasificación más rápida de la zona de estudio, manteniendo una coherencia en la asignación de áreas vecinas a dos categorías, a la vez que permite generar la distribución espacial de variables biofísicas (temperatura, clorofila en el agua, etc.), y simplifica la determinación de cambios temporales

Clasificación de la imagen. Básicamente consiste en dividir el conjunto de píxeles que componen la imagen, y agruparlas en categorías temáticas, en donde ya no tendrán sus valores en Niveles Digitales sino como inventario de un objeto de estudio. Durante la clasificación digital se requiere el uso de métodos que incorporen reglas de decisión, los cuales se pueden agrupar en dos categorías: los supervisados y los no supervisados.

Clasificación supervisada. Funciona a partir de un cierto conocimiento de la zona a clasificar, adquirido por experiencia previa o por trabajos de campo del área en estudio. Esto permite delimitar áreas representativas de las categorías analizadas (sitios de entrenamiento). A partir de aquí se calculan los Niveles Digitales que definen las clases. El usuario define los campos de entrenamiento para las diferentes categorías

que quedarán agrupadas de acuerdo a sus respuestas espectrales. En este caso se dispone de un conjunto de observaciones multivariadas, para las cuales se conocen a priori las clases a las que pertenecen, es decir la variable respuesta está definida.

Clasificación no supervisada. Los píxeles son asignados a distintos cluster sin necesidad de tener conocimiento previo del área examinada, ni de la existencia de posibles patrones homogéneos en ella. El objetivo es relacionar las clases obtenidas con objetos reales cuya existencia, características y diferencias se pueden comprobar en campo (CIOMTA, 2004). Este método no implica conocimientos previos del área de estudio, de modo que la intervención del investigador se orienta hacia la interpretación de los resultados; por tanto, en donde la clasificación de los píxeles se realiza sin seguir ningún tipo de criterio, únicamente definiendo grupos de clases espectrales, asumiendo que los niveles digitales de la imagen forman una serie de grupos o conglomerados (clusters). En este caso se dispone de un conjunto de observaciones multivariadas, pero no se conocen las clases a las que pertenecen. Estos grupos de píxeles serían equivalentes en términos de su comportamiento espectral más bien homogéneo y, por tanto, deberían definir clases temáticas de interés.

Resultados. Independientemente del método empleado en la clasificación digital, los resultados se almacenan en una nueva imagen que es similar a las originales en cuanto a su estructura y tamaño pero con la diferencia de que el Nivel Digital de cada píxel no corresponde a un valor de reflectividad, sino a la categoría que se le asigno (Ruíz, 2006). Esta nueva imagen da lugar a dos productos: uno cartográfico y otro estadístico.

2.1.5 Análisis Visual

En este marco, se puede aprovechar la potencia de análisis de interpretación visual (incluyendo criterios de contexto, textura, formas complejas que puede emplear el intérprete), así como la flexibilidad y potencia del tratamiento digital (imagen georreferida, mejoramiento en su aspecto visual, digitalización de la información en pantalla, etc.).

Se trata de una fotointerpretación asistida por el ordenador, que elimina diversas fases de la interpretación visual clásica (restitución, inventario). Con la interacción visual con el intérprete se pueden resolver algunos problemas del tratamiento digital, que encuentra notables dificultades para automatizar la interpretación de ciertos rasgos de la imagen (algunas nubes, áreas urbanas, etc.) que son bastante obvios al análisis visual (Paniagua, 2006) (Carranza y Paniagua, 2007).

Es una alternativa para modificar la cartografía generada a partir de un análisis digital, identificando clases heterogéneas. Auxilia la clasificación digital, aislando sectores de potencial confusión sobre la imagen, o estratificando algunos sectores de la imagen para aplicarles tratamientos específicos.

2.2 Detección de cambios en las cubiertas del suelo

De acuerdo con Singh (1989), la detección de cambio, es el proceso de identificar diferencias en el estado de un objeto observado en diferentes tiempos. También hace mención a los productos generados a partir de la percepción remota, los cuales, gracias a la cobertura repetida en intervalos cortos de tiempo y una constante calidad de la imagen, son ideales para la detección de cambios en las cubiertas del suelo.

En la actualidad los estudios sobre los procesos dinámicos de los cambios en la cobertura del suelo y la deforestación son importantes y necesarios porque proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada. La naturaleza intrínseca de los ecosistemas encierra como motor inherente una serie de aspectos dinámicos. Durante las últimas décadas, no obstante, el hombre (originalmente considerado como una especie más y sujeta a la dinámica propia de cada ecosistema) se ha convertido en el principal desencadenador de la actividad transformadora de los ecosistemas (Velázquez, Mas, 2002).

La presión que ejerce el hombre sobre los recursos naturales, en un principio para cubrir las necesidades básicas, las cuales han aumentado junto con el crecimiento de la población, hasta la sobreexplotación generada por la comercialización del recurso, ha llevado a que los niveles de pérdida actual de la vegetación primaria sea alta debido principalmente a la conversión de masas forestales en áreas agrícolas y ganaderas por medio de talas, incendios, así como eventos naturales que modifican las coberturas del suelo (deslaves, inundaciones, terremotos, etc.).

Entre las principales aplicaciones potenciales son la identificación de los relevantes focos de cambio y sus procesos asociados (e.g., deforestación, fragmentación). En consecuencia se podrán medir las implicaciones ambientales o sociales de estos cambios probables, sus repercusiones económicas y establecer mecanismos de control de las causas de origen. Así se ayudaría a generar un sistema de seguimiento y actualización periódicos.

Analizar la situación actual y potencial de los bienes y servicios ambientales en general derivada de un buen inventario de sus recursos naturales y su dinámica. Entre los servicios y bienes de consumo directo destacan el agua y la masa forestal.

La detección de cambios sobre las cubiertas del suelo utilizando imágenes de satélite, ha sido muy estudiado. Más aplicaciones de este tipo, incluye cualquier diferenciación de imágenes o su clasificación, utilizando una escala multitemporal (Yu-Chuan et al. 2000).

En la tabla 2.2 se muestra el resumen modificado por Lu (2004) y Mas (2000), y utilizado por González (2006), en la cual se exponen las principales técnicas de detección de cambios en percepción remota, incluyendo las principales ventajas y desventajas de cada una de ellas.

Comparación Post-clasificación	Caraterísticas	Ventajas	Desventajas
Clasificaciones no supervisadas	Clasificación de imágenes independientes, entonces implementa la comparación de las imágenes Clasificadas píxel por píxel	Corrección radiométrica no es necesaria. Minimiza impactos atmosféricos, y del sensor.	Dificultad al analizar los clusters de las clasificaciones independientes
Clasificaciones supervisada	Comparación de las imágenes clasificadas independientemente	Corrección radiométrica no es necesaria. Minimiza impactos atmosféricos, y del sensor. Provee una matriz completa de la información de cambio..	Requiere mucho tiempo además de la fiabilidad final depende de la calidad de las imágenes clasificadas para cada fecha.
Expectación maximización	Es un método de clasificación usando un algoritmo de expectación maximización (EM) para estimar a priori las clases comunes entre dos fechas.	El método ha reportado una gran fiabilidad al detectar cambios.	Requiere estimar la probabilidad de clases comunes a priori.

	Éstas probabilidades son estimadas directamente de las imágenes bajo análisis.		
Redes neuronales artificiales (ANN)	Usa campos de entrenamiento. Entonces las redes neuronales son los datos espectrales del período de cambio. Un algoritmo de propagación es muchas veces usados para entrenar el modelo multicapas de percepción de redes neuronales.	Es un método supervisado no paramétrico y tiene la habilidad de estimar las propiedades de los cambios basados en los campos de entrenamiento.	La naturaleza de las capas ocultas, es pobremente conocida, además es muy sensitivo a la suma de los datos de entrenamiento usados. Las funciones ANN no son comunes en el procesamiento de imágenes.

Tabla 2.2 Principales técnicas de cambio que utilizan una comparación post-clasificación.

González (2006), hace referencia a que en recientes años se han desarrollado nuevos algoritmos, y marca como ejemplo el Análisis Espectral de Mezcla y SIG con percepción remota. Previas investigaciones ha mostrado que la combinación de dos o más técnicas de detección de cambio puede proveer mejores resultados que utilizando únicamente un solo algoritmo.

El análisis post-clasificadorio utilizando matrices de detección de cambio, permiten comparar dos mapas temáticos, producidos independientemente (Sing, 1989), y con métodos de Sistemas de Información Geográficos (SIG).

La matriz de detección de cambios, contiene información de transformación de una clase a otra y su arreglo permite el cálculo de cambio en conjunto y por categoría. Los datos que se encuentren en la diagonal, representan la superficie sin cambio dentro del periodo, mientras los datos fuera de la diagonal, representan los cambios de una clase a otra

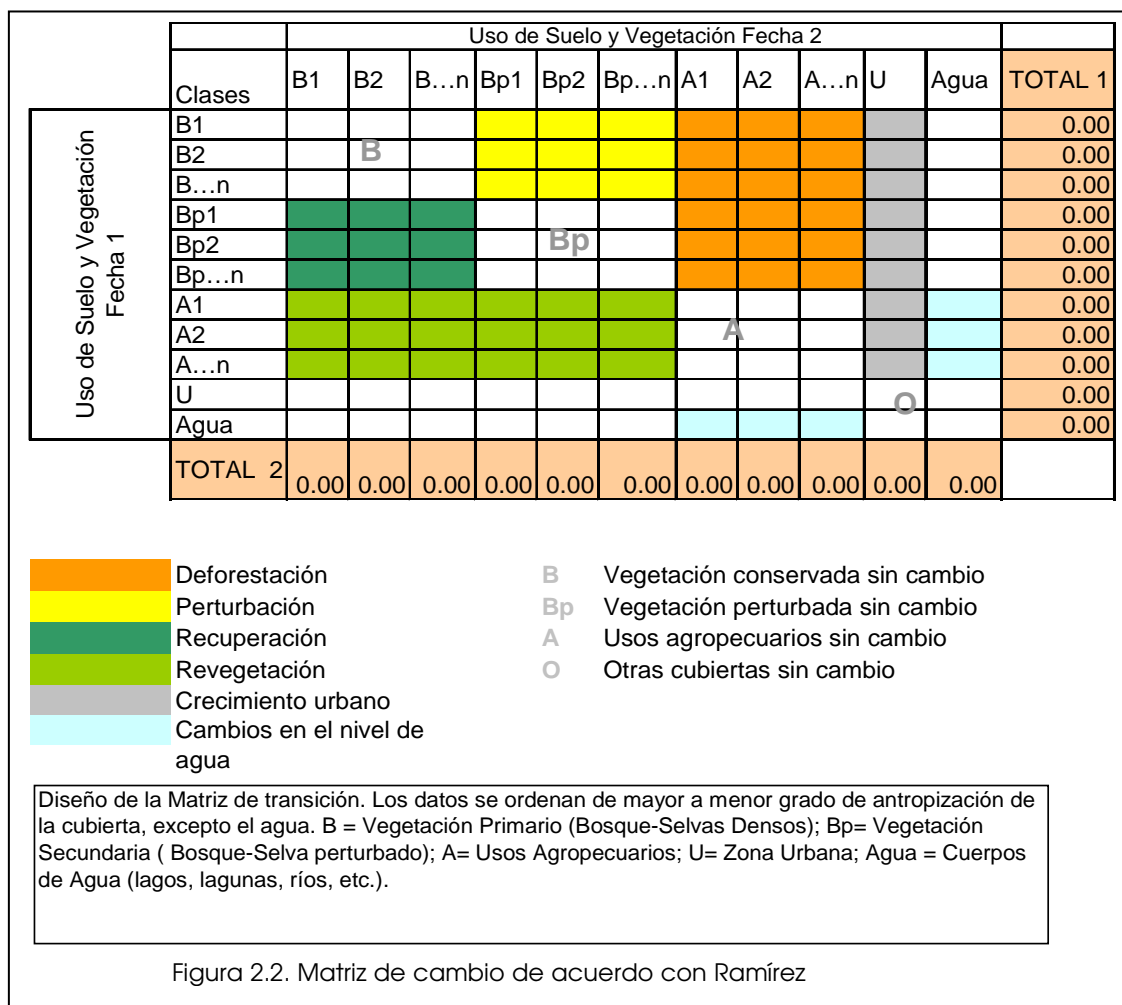
en forma de ganancia o pérdida (renglones y columnas respectivamente) entre las dos fechas (Congalton y Green, 1999).

El método de interpretación interdependiente de la FAO (1996, 2000), indica que se marquen en su totalidad todos los polígonos de la primera fecha, para utilizarlos como base de interpretación de las siguientes fechas, únicamente modificando los polígonos en los cuales se detecten transformaciones. De acuerdo con Ramírez y Zubieta (2005), este es un método muy efectivo por que ayuda a reducir al mínimo los errores más comunes que llevan a la detección de falsos cambios: 1) errores de posición, el interprete puede posibles desplazamientos entre las imágenes, y no señalarlos como cambios; 2) errores de clasificación, el método permite moverse fácilmente de una fecha a la otra, por lo que el intérprete puede reconocer si se trata de verdaderos cambios o sólo de diferencias en la respuesta espectral de las cubiertas

La cuantificación de cambio resulta de la diferencia mediante sobreposición cartográfica entre los mapas de cobertura de una fecha base y una fecha a comparar, de ello resulta una matriz de cambio, con un valor cada clase que ha cambiado (más dinámicas), y una indicación de aquellas clases que no han cambiado (más estables). También se deriva una evaluación de clases de cobertura y uso atractoras de territorio de otras clases y de cobertura que pierden territorio con otras clases (IFN, 2000).

De acuerdo con Ramírez y Zubieta (2005), la matriz de transición (Figura 2.2) incluye la reagrupación de categorías de acuerdo al tipo de transformación:

1. Deforestación. Pérdida del arbolado, denso o abierto, por cambio a usos No Forestales.
2. Perturbación. Pérdida o aclarado del arbolado sin cambio en el uso de suelo.
3. Recuperación. Restablecimiento de arbolado denso sobre áreas perturbadas, aclaradas o de vegetación arbustiva.
4. Revegetación. Establecimiento de vegetación secundaria por abandono de parcelas agrícolas, pecuarias o vegetación recuperada después de algún evento de rápida transformación sobre la cobertura vegetal (áreas afectadas por incendios, deslaves, inundaciones, etc).
5. Crecimiento urbano. Incremento de la superficie ocupada por áreas habitacionales o industriales.
6. Cambios en nivel del agua. Aumento o descenso en el nivel de los cuerpos de agua.
7. Vegetación conservada sin cambio.
8. Vegetación perturbada sin cambio.
9. Usos agropecuarios sin cambio.
10. Otras cubiertas sin cambio.



De acuerdo con el “Protocolo para la evaluación del Uso del Suelo y vegetación en Áreas Naturales Protegidas Federales de México” (Carranza y Paniagua 2007), para el cálculo de la Tasa de Transformación en las cubiertas del suelo, éstas, se agrupan en la categoría “Forestal” y “No Forestal” (Ley Forestal, 1997). La primera categoría agrupa al conjunto de plantas dominadas por especies arbóreas, arbustivas o crasas, que crecen y se desarrollan en forma natural dando lugar a bosques, selvas, y vegetación de zonas áridas. La segunda agrupa los usos del suelo derivados de actividades antrópicas y/o eventos naturales que de algún

modo modificaron el uso del suelo o la cobertura forestal. Cabe destacar que la categoría "Área sin vegetación Aparente", la cual de acuerdo al Diccionario de Datos de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI (2000) se incluyen bajo este concepto los eriales, depósitos de litorales, jales, dunas y bancos de ríos y bancos de materiales que se encuentren desprovistos de vegetación o con una cobertura extremadamente baja o en que ésta no sea aparente y, por ende, no se le pueda considerar bajo alguno de los otros conceptos de vegetación; así como "Área sujeta a inundación", se consideraron dentro del grupo Forestal, esto debido a que son categorías presentan una dinámica de cambio nula, y al se consideradas como No Forestal, aumentaría la superficie que implican transformación, inflando el dato.

2.2.1 Cálculo de Tasa de Transformación en las cubiertas del suelo

Con base en la información obtenida de la agrupación de los tipos de vegetación, y tomando como referencia la superficie del polígono del área de estudio, se calculará la tasa de transformación de acuerdo a la ecuación utilizada por la FAO (1996) y modificada por Dirzo y García (1992), Trejo y Dirzo (2000):

$$\delta = 1 - \left[1 - \frac{S_1 - S_2}{S_1} \right]^{1/n}$$

Donde:

δ = tasa de cambio (para expresar en %, multiplicar por 100)

S1 = superficie forestal, al inicio del periodo

S2 = superficie forestal, al final del periodo

n = número de años entre las dos fechas

Con la cartografía base de la cubierta vegetal y usos de La Chinantla de las dos fechas (2004-2005), se conocerá el estado de la cubierta vegetal respecto a los usos de suelo, así como el dato histórico del cual se podrá obtener información de la dinámica de transformación. Los datos obtenidos de Tasa de Transformación, servirán de base para conocer las tendencias de cambio por actividades humanas o eventos naturales extraordinarios que modifican la superficie ocupada por elementos forestales, o bien en la reconversión de la cobertura vegetal como resultado de los programas de restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (Carranza y Paniagua, 2003).

Capítulo 3 Materiales y Métodos

3.1 Materiales

Los materiales utilizados en este trabajo son:

- Imágenes del sensor SPOT 5
- Modelo Digital de Elevación del área
- Corte del mosaico Landsat ETM de la NASA
- Cobertura de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI Serie II
- Software: Erdas Imagine, ArcInfo, ArcMap

3.1.1 Imágenes SPOT

Como primera etapa para el desarrollo del proyecto, fue definir las escenas SPOT que se requerían para el área de estudio dentro del periodo 2004-2005. Para esta tarea se utilizó la cobertura de la división política de la República Mexicana, el límite de la región La Chinantla y la capa de K-J del 2005. El sistema K-J se utiliza para la ubicación de escenas basado en la órbita del satélite. La K representa la posición de la longitud, y J corresponde a la latitud de la escena (SPOT Image, 2007) (Fig. 3.1).

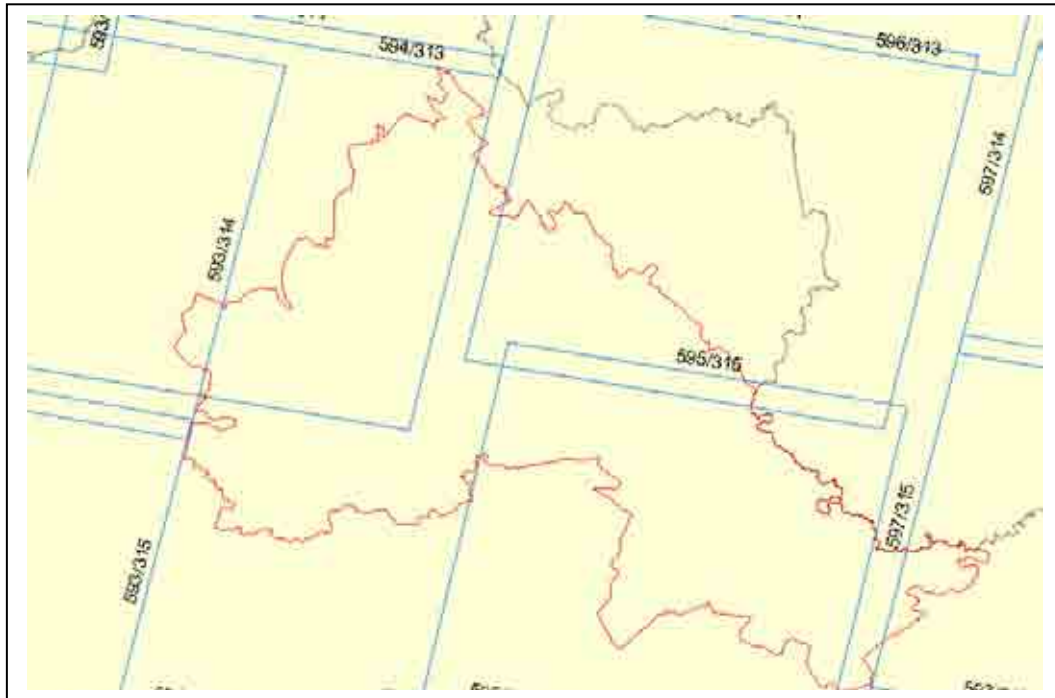


Figura 3.1. Imágenes SPOT 5 que cubren la región La Chinantla.

De las escenas SPOT que se ocuparían para el desarrollo del proyecto, se generó la tabla 3.1, la cual muestra la existencia por su K-J, fecha de la toma así como el número de bandas de cada una y las imágenes procesadas para este trabajo.

K/J	Fecha	
	2004	2005
594/314	No disponible	03-Nov
594/315	05-Mar	25-Abr
595/314	19-Feb	30-Abr
595/315	05-Mar	30-Abr
596/315	05-Mar	20-Abr
Total de Imágenes		

Tabla 3.1. Imágenes Spot 5 que cubre la región La Chinantla

3.1.2 Modelo Digital de Elevación (MDE)

Se adquirió un Modelo Digital de Elevación (DEM), de la página del INEGI del sistema continuo de elevaciones del País (<http://mapserver.inegi.gob.mx/DescargaMDEWeb>), en un formato *.bil. El tamaño de celda es de 30 metros, se encuentran con un sistema de coordenadas geográficas con un datum ITRF92 y un esferoide GRS80. Para descargar el archivo DEM, se definieron las coordenadas extremas del área de estudio, siendo las siguientes:

ULX: 96° 59' 20.26" W	LRX: 95° 34' 14.45" W
ULY: 18° 16' 39.07" N	LRY: 17° 17' 31.56" N

La primera tarea fue importar al formato nativo de ERDAS Imagine y reproyectar al sistema UTM.

3.1.3 Mosaico LANDSAT ETM ortorectificado

Dentro del proyecto no se contó con ortofotos de la ecorregión La Chinantla para la ortorectificación de las imágenes SPOT5, por tal motivo se descargó del acervo de datos de imágenes de satélite ortorectificadas del cubrimiento global de la NASA, GeoCover Landsat (<http://glcf.umd.edu/data/landsat/geocover>), un mosaico de imágenes Landsat ETM+ de GeoCoverTM como una de las bases para la corrección geográfica de las imágenes SPOT aprovechando las características de dicho producto, de las cuales se puede mencionar:

- El realce espacial que se les aplicó a 15 metros apoyado en la banda pancromática de cada escena.

- Es un producto multiespectral (Bandas 7-4-2).
- El Mosaico cubre por completo el territorio de la República Mexicana.
- La disponibilidad gratuita del producto.

Al no contar con otro insumo de mayor resolución se optó por utilizar estas imágenes Landsat con realce espacial a 15 metros, como la base para la obtención de los puntos de control para el proceso de ortorectificación de las imágenes Spot del 2004 y 2005.

3.1.4 Cobertura de Vegetación y Uso de Suelo del INEGI Serie II

De esta cobertura se hizo un corte con el polígono limítrofe de la Región La Chinantla. Dicho corte, se utilizó como base para definir las categorías a clasificar en las imágenes SPOT 5 del 2004 y 2005.

La descripción de dichas categorías se listan en la Tabla 3.2 de acuerdo con el “Diccionario de datos de uso de suelo y vegetación” de INEGI, 2000. Cabe destacar que se hicieron modificaciones: solo se maneja “Zona Agrícola” sin marcar el rol de la actividad (por Temporal, Humedad, de riego, etc.). Sucede lo mismo para los “Pastizales”, no se separan pastizales de cultivo de los inducidos. Además se incluyen las categorías de “Zona Urbana”, “infraestructura”, que se refiere principalmente a vías de comunicación. Finalmente se adicionó la vegetación secundaria como es el caso del Bosque mesófilo de montaña, Bosque de pino-encino y Selva alta y mediana perennifolia.

Vegetación	Descripción	Especies representativas
Bosque de encino	Se desarrolla generalmente en las zonas montañosas del país y por sus características florísticas, ecológicas y fisonómicas, ha dado lugar a la clasificación de un gran número de tipos vegetativos, entre los que se encuentra la comunidad vegetal formada por especies del género <i>Quercus</i> (encinos o robles). Estos bosques pueden ser de unos 6 – 8 m de altura o bien de unos 30 m, más o menos abiertos o muy densos, se desarrollan en muy diversas condiciones ecológicas desde casi el nivel del mar hasta cerca de los 3000 m de altitud. Salvo en las condiciones más áridas, se le puede encontrar en casi el resto del país. En general este tipo de bosque se encuentra muy relacionado con los de pino, formando una serie de mosaicos.	<i>Quercus</i> (encino o roble).
Bosque de pino	Comunidad vegetal constituida por diferentes especies del género <i>Pinus</i> , de amplia distribución en las cadenas montañosas de todo el país, desde cerca de los 300 m de altitud hasta los 200 m en el límite altitudinal de la vegetación arbórea.	<i>Pinus</i> spp.
Bosque de pino-encino	Esta comunidad es la que ocupa la mayor parte de la superficie forestal de las partes superiores de los sistemas montañosos del país. Las mezclas de diferentes especies de Pino (<i>Pinus</i> spp), y Encino (<i>Quercus</i> spp) son frecuentes y ocupan muchas condiciones comprendidas dentro del área general de distribución de los pinos.	<i>Pinus</i> spp y <i>Quercus</i> spp
Mesófilo de montaña	Vegetación arbórea densa que se localiza en las laderas de montaña en donde se forman neblinas durante casi todo el año, o bien en barrancas y otros sitios protegidos en condiciones más favorables de humedad. Es notable en esta comunidad, la mezcla de elementos boreales y septentrionales (templados y tropicales). Se desarrolla generalmente en altitudes de 800 a 2400 m.	<i>Son muchas las esp-cies que la forman siendo algunas de ellas: Engelhardtia mexicana (Micoxcuá-huitl), Carpinus caroliniana (Lechillo), Liquidambar styraciflua (Liquidámbar), Quercus spp. (Encinos, Robles, etc), Clethra spp, Podocarpus spp, Magnolia spp, Oreopa-nax spp, Ternstroemia spp., Eugenia spp., Ostrya virginiana, Chaetoptelea (ulmus) mexicana, Junglans spp., Dalbergia spp., etc., y gran cantidad de epífitas.</i>
Selva alta perennifolia	Vegetación arbórea de 30 m o más de altura en climas cálido húmedos con estación seca breve, o sin estación seca, menos del 25% de los árboles pierden follaje a lo largo del año.	<i>Terminalia amazonia, Swietenia macrophylla, Guatteria anomala.</i>
Selva mediana perennifolia	Comunidad arbórea muy similar a la selva alta perennifolia, de 20 a 30 m de altura.	
Selva baja caducifolia	Comunidad vegetal con árboles cuya altura, esta comprendida entre los 4 y 15 metros y se caracteriza porque más del 75% de sus árboles dominantes pierden totalmente el follaje durante la época seca del año (6-8 meses). Se desarrolla	<i>Se puede encontrar cuajote o copal (Bursera spp), chacá (Bursera simaruba), pochote (Ceiba spp), tepeguajes (Lysiloma spp), bonete</i>

	en climas cálidos y subhúmedos, semisecos o subsecos, principalmente sobre laderas de cerros con suelos de buen drenaje. Es una de las selvas de mayor distribución en México.	<i>(Jacaratia mexicana)</i> , <i>amapola (Pseudobombax spp)</i> , <i>Ciricote (Cordia spp)</i> , <i>cazahuates (Ipomoea spp)</i> , <i>guajes (Leucaena spp)</i> , <i>barbas de chivo (Pithecellobium acatlense)</i> y <i>varias cactáceas candelabriformes.</i>
Selva baja subcaducifolia	Comunidad muy semejante a la selva baja caducifolia, excepto en que los árboles dominantes conservan más tiempo el follaje a causa de una mayor edad edáfica. Se caracteriza porque del 50% al 75% de sus componentes tiran sus hojas durante la época de sequía, esta compuesta por árboles de 8 a 15 metros de altura. La presencia de estas comunidades probablemente se deba más a limitantes edáficas que a climáticas.	<i>Algunas especies más representativas son: Tzalam (Lysiloma latisiliqua), Ts'ipil (Beaucarnea ameliae), Kuka' (Pseudophoenix sargentii), Chaka (Bursera simaruba), etc.</i>
Categorías que se incluyen en la clasificación 2004 y 2005 a partir de imágenes SPOT 5 y que se encuentran dentro del Diccionario de datos de uso de suelo y vegetación.		
Vegetación secundaria	Comunidades originadas por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original y en otros casos presenta un aspecto y composición florística diferente. Se desarrolla en zonas desmontadas para diferentes usos y en áreas agrícolas abandonadas.	
Áreas sin vegetación aparente	Se incluye bajo este concepto los eriales, depósitos de litorales, jales, dunas y bancos de ríos y bancos de materiales que se encuentren desprovistos de vegetación o con una cobertura extremadamente baja o en que ésta no sea aparente y, por ende, no se le pueda considerar bajo alguno de los otros conceptos de vegetación. La ausencia de vegetación puede ser determinada por condiciones naturales como clima muy árido, salinas, o bien porque la vegetación fue eliminada totalmente por actividades humanas.	
Categorías Modificadas que se incluyen en la clasificación 2004-2005		
Zona Agrícola	Incluye de Temporal, humedad, de riego, etc.	
Pastizales	Incluye cultivados e inducidos.	
Zonas Urbanas	Poblaciones en general	
Infraestructura	Zonas industriales, vías de comunicación	

Tabla 3.2. Categorías de Uso de Suelo del IFN 2000, y categorías que se incluyen en la clasificación SPOT.

3.2 Métodos

Para la detección de cambio en las cubiertas del suelo y la obtención de la matriz de transformación, se generaron las capas de las cubiertas del suelo a partir de imágenes de satélite del sensor SPOT de los años 2004 y 2005, utilizando métodos de percepción remota y herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). En la figura 3.2, se

especifican en forma de diagrama de flujo los procesos que se siguieron para cubrir los objetivos de este trabajo.

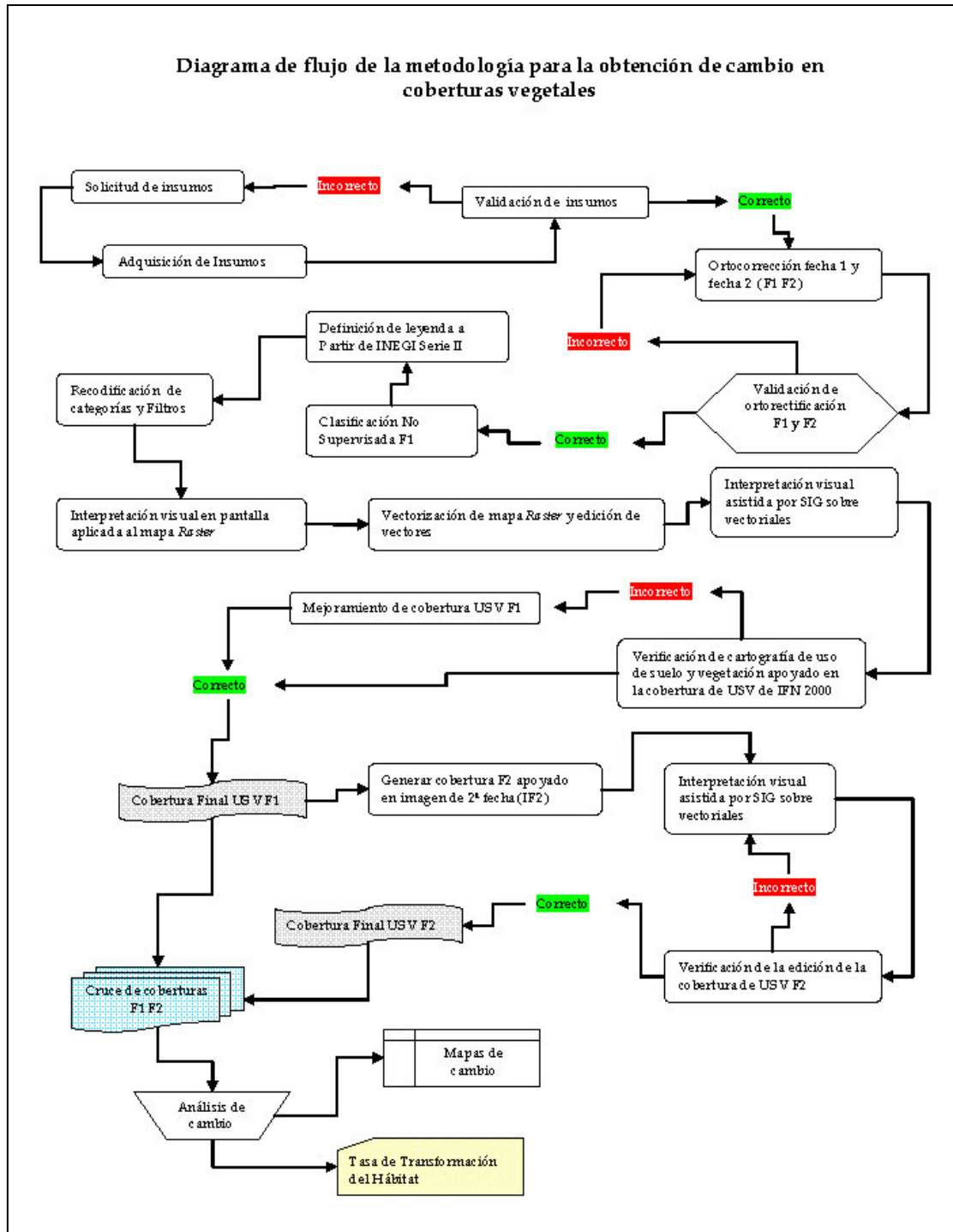


Figura 3.2. Diagrama de flujo de metodología

3.2.1 Ortorectificación

En el caso de las imágenes spot utilizadas para generar las capas de cubiertas del suelo de la Ecoregión La Chinantla se usó un modelo diseñado especialmente para imágenes SPOT, incluido en ERDAS Imagine 8.7 que permitió crear un modelo de corrección geométrica personalizado para los sensores SPOT. Este modelo puede ser usado para la ortorectificación de cualquier imagen que haya sido creada con alguno de los sensores SPOT, ya que se deriva de un método de orientación espacial basada en ecuaciones de colinealidad. Este se alimenta de información como el tipo de imagen, ángulo de incidencia, y especialmente de la información de altitud para eliminar desplazamientos por relieve (DEM).

Para la ortorectificación de las imágenes SPOT de los años 2004 y 2005, se localizaron puntos de control (GCP, por sus siglas en inglés Ground Control Points), dichos GCP fueron localizados en lugares claramente identificables en la imagen SPOT y LANDSAT, dando preferencia a los rasgos humanos del paisaje no sujetos a dinamismo temporal: cruce de carreteras, caminos, vías de ferrocarril, parcelas, etc. Esto se realizó en el modulo ORTHOBASE del software ERDAS IMAGINE, el cual permite hacer este tipo de correcciones por bloque de imágenes (Fig. 3.3), esto es, incluyendo al mismo tiempo más de una imagen para adicionar GCP's. Para las imágenes incluidas en un sobrelape, se utiliza el mismo punto sobre el rasgo espacial ubicado en todas las escenas implicadas en dicho sobrelape.

El promedio de los residuales habitualmente se le conoce como el error medio cuadrático (Root Mean Square Error, RMSE). El RMSE se calcula

como la raíz cuadrada de las desviaciones de los valores observados y los estimados por regresión tanto para las filas como para las columnas (Chuvieco, 2002).

El RMSE que es el indicador de ajuste de calidad del proceso, se calcula del número total de GCP incluidos en el bloque de imágenes. El resultado final del proceso es un mosaico de imágenes SPOT ortorectificado.



Figura 3.3. Bloque de imágenes SPOT a corregir en Orthobase

3.2.2 Clasificación automatizada e interpretación visual

Para obtener las capas de cubiertas del suelo del año 2004 y 2005 de la Región La Chinantla, se hizo una clasificación automatizada apoyada por la interpretación interdependiente propuesta por la FAO (1996, 2000).

La interpretación de la imagen se realizó con criterios visuales y digitales. En este marco, se aprovecharon las potencias de análisis de interpretación visual (incluyendo criterios de contexto, textura, formas complejas que puede emplear el intérprete), así como la flexibilidad y potencia del tratamiento digital (imagen georreferida, mejoramiento en su aspecto visual, digitalización de la información en pantalla, etc.).

La primera tarea fue hacer una clasificación de forma automatizada a las imágenes que se encuentran dentro del polígono del área de estudio del año 2004, utilizando el software ERDAS Imagine. El método utilizado fue "No supervisado", en el cual se asume que los niveles digitales de la imagen forman una serie de agrupaciones o conglomerados (cluster), nítidos. Se aplica el método de ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique). Este algoritmo utiliza el método de mínima distancia espectral para formar los clusters.

Las categorías fueron adquiridas de la cobertura de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI Serie II. Dichos clusters tienen que ser posteriormente asignados a clases de cubiertas vegetales o usos de suelo, este método se puede utilizar sin el conocimiento previo del terreno (Rogan y Chen 2004).

Para cada imagen SPOT se asignaron 100 cluster, esto para buscar los grupos de los píxeles más homogéneos entre ellos, para su posterior reagrupamiento en alguna categoría de la leyenda que se muestra en la tabla 3.3.

Área sin vegetación aparente	Infraestructura
Bosque de encino	Pastizales
Bosque de pino-encino	Zona agrícola
Bosque mesófilo de montaña	Zona urbana
Selva alta y mediana perennifolia	Área sujeta a inundación
Bosque de pino-encino con vegetación secundaria	Cuerpo de agua
Bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria	
Selva alta y mediana perennifolia con vegetación secundaria	

Tabla 3.3. Leyenda final para clasificación

A las imágenes clasificadas con 100 cluster se les aplicó una re-codificación. La intención con este proceso, es asignar el valor apropiado a los píxeles agrupados ajustándose a la leyenda diseñada para este proyecto (15 clases). El proceso de re-codificación, como los procesos anteriores de clasificación, se realizó a cada imagen por separado.

Las categorías no siempre pueden equipararse a las clases que se pretenden deducir, por lo que la interpretación visual apoyara a este proceso. La primera interpretación visual asistida por el procesador, se aplicó a la capa *raster*; re-delimitando las fronteras entre clases, esto se realizó con apoyo de la escena multiespectral, separando las categorías que se mezclan de forma errada con otras clases, en el procesador de imágenes ERDAS Imagine. Por lo regular esto sucede principalmente con los *cluster* de zonas urbanas, pues la respuesta espectral de los elementos terrestres que las conforman, muestran la misma respuesta dentro de otras clases, por lo cual es necesario modificarlo de forma manual utilizando la herramienta de relleno. Esta herramienta lo que hace es realizar cambios por medio de rellenos con valores de otra categoría a áreas seleccionadas sobre la capa raster temática, esto es, hacer cambios directos sobre la capa clasificada en un formato de celdas (filas y columnas) utilizando los criterios de la interpretación visual. Asimismo, se hicieron las primeras correcciones en el área de ligas entre las escenas para que exista la continuidad de clases de una a otra imagen clasificada.

Al terminar la primera etapa de interpretación visual sobre la capa *raster*, se realizó la transformación a formato vectorial. Esto implica realizar una serie de procesos. Dichas tareas son las siguientes:

- Transformación de formato Raster a Vectorial en el Sistema de Información Geográfica (SIG) Arcinfo.
- Al tener la capa de cubiertas del suelo ya en formato vectorial Arcinfo, el siguiente proceso fue eliminar la Mínima Unidad Cartografiable (MUC), la cual esta condicionada a la escala de trabajo al ser la unidad más pequeña de la información (Chuvienco, 2002). De acuerdo con la Asociación Cartográfica Internacional (ICA por sus siglas en ingles, International Cartographic Association) (Anson, 2002), la escala límite más idónea para el sensor SPOT 5 (10 metros) es 1:50000. La ICA recomienda que la MUC no sea inferior a 4mm² (2mm x 2mm), medidos a escala del mapa (tabla 3.4).

Sensor	Escala	Papel en mm	Distancia real en m	MUC en m ²	MUC hectáreas
SPOT	1:50000	2	100	10000	1

Tabla 3.4. MUC para el sensor SPOT de acuerdo a la ICA

- Al eliminar la MUC de la capa, es muy probable que existan polígonos vecinos con categoría similar, entendiendo que los elementos que los separaban se eliminaron por no cumplir con el mínimo de superficie requerido de acuerdo al sensor de origen y a la escala de trabajo. El procedimiento es eliminar fronteras entre elementos que tengan una clase similar entre ellos, para esto se disolvieron polígonos vecinos con la misma categoría.

- Se realizó un suavizado de los arcos que conforman a los elementos de polígono. Esto es necesario por que al ser transformados del formato raster a elementos de arco, tienen la forma de las fronteras entre *píxeles*, y de acuerdo a la resolución espacial del sensor utilizado, va a ser la distancia que exista entre los vértices. Por ejemplo, si la capa de cubierta del suelo se generó a partir del sensor LANDSAT ETM+, la distancia entre vértices será de 30 metros. El proceso de suavizado se realizó con la herramienta *spline* del SIG Arcinfo, que funciona con la tolerancia *Grain* de la capa, la cual controla el número de vértices de un arco y la distancia entre ellos en formas curvas (Figura 3.4 A-B).

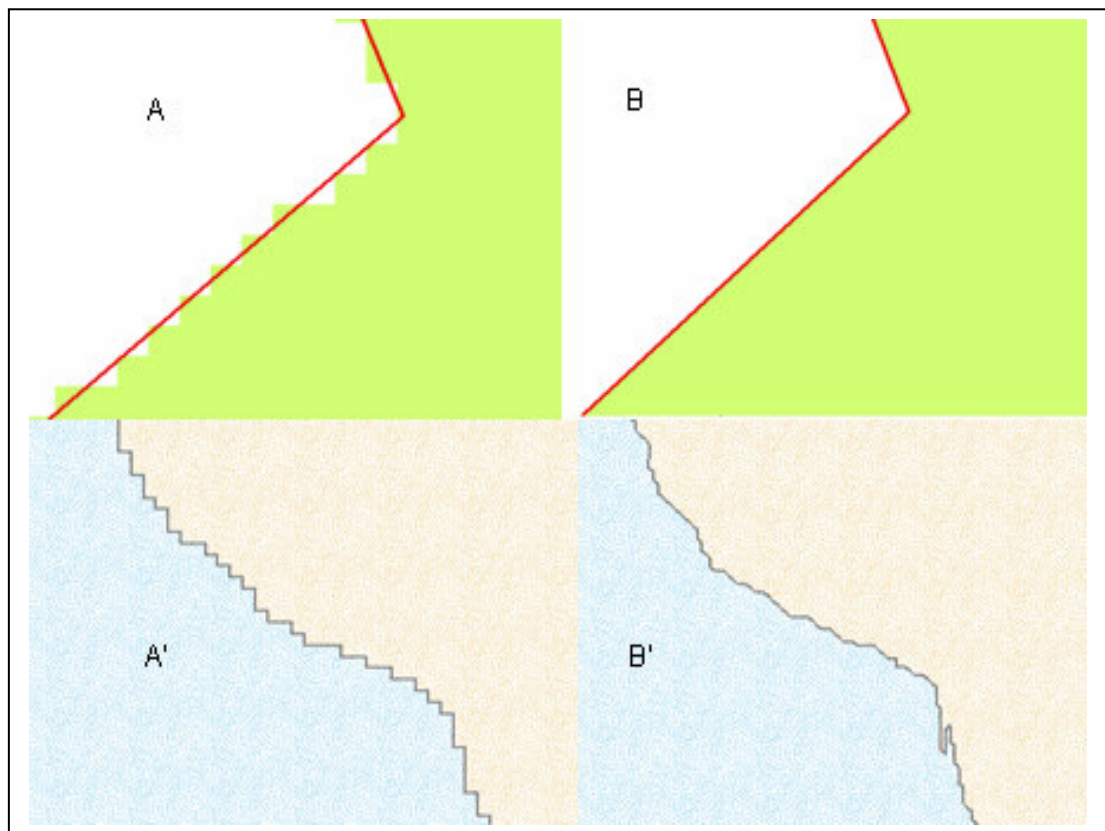


Figura 3.4. A) Límite del área de estudio en rojo, no coincide con límite de clasificación. B) Ambos límites coinciden. A') Fronteras entre clases con la forma de los píxeles. B') Después del proceso de suavizado

- Al convertir la clasificación a capa Arcinfo, los límites de los elementos tienen la forma de los píxeles de la imagen (esto se explica en renglones arriba), por lo cual, al momento de obtener datos de superficie general o por categoría, nunca coincide a la superficie calculada para el polígono limítrofe del área de estudio generando problemas al momento del análisis de transformación. Por lo anterior se cambió el límite de la capa de cubiertas del suelo por el polígono oficial del área (Figura 3.4 A'-B').
- El campo GRID-CODE de la capa, contiene la clase de la leyenda al que corresponde cada elemento, por lo cual a partir de este, se generó la base de atributos. Por ejemplo; el grid-code = 5, corresponde a la categoría "Área sin vegetación aparente".
- Con los pasos anteriores cubiertos, se realizó la segunda interpretación visual asistida por el procesador. Se aprovechan las ventajas de despliegue de información geográfica georeferida en Arcinfo, utilizando la escena de la imagen de satélite que se ocupó para la obtención de la capa de cubiertas del suelo, se marcaron modificaciones en la cobertura de acuerdo a los rasgos de dicha escena (eliminación de nubes y sombras, redelimitación de rasgos entre categorías, etc) (Figura 3.5).

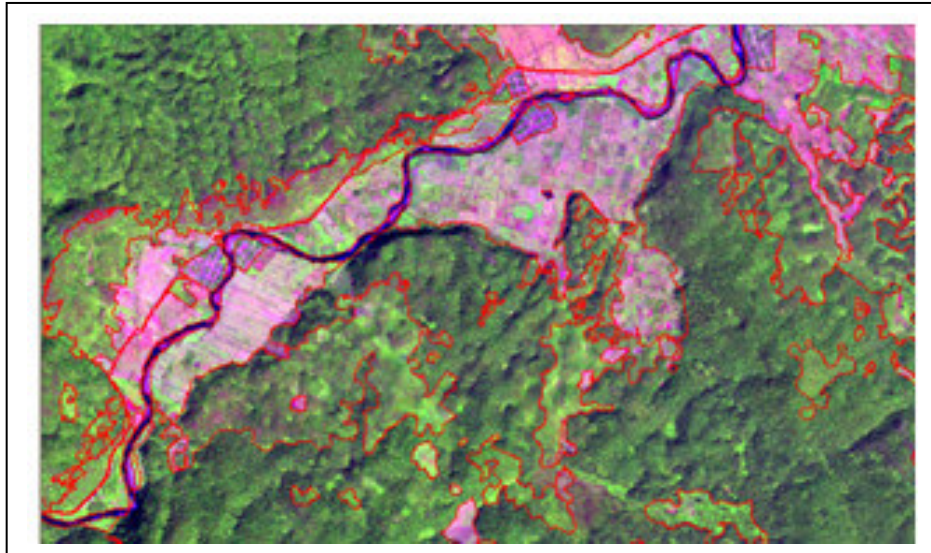


Figura 3.5. La interpretación visual en pantalla con apoyo de las imágenes SPOT

- Topologías. Al termino de cada uno de los procesos anteriores, se debe de actualizar la liga existente entre la información tabular de la capa (tabla de atributos) con los elementos gráficos. De no hacerlo, tendrá errores internos que no permitirán proseguir con el análisis.
- Cuando se llegó al final de la segunda interpretación visual asistida por el procesador (edición vectorial de las capas de cubiertas del suelo), es muy probable que por errores del usuario, existan elementos de la capa incompletos. Esto es, en el SIG Arcinfo, las capas de polígonos maneja por separado los elementos que conforman a cada polígono, (arcos y etiquetas), siendo las etiquetas las que contienen los atributos, por lo tanto si un grupo de arcos (cerrados) no tiene etiqueta, se va a

manifestar como un hueco. Por lo contrario, si un grupo de arcos (cerrados) tiene más de una etiqueta, esto va a provocar conflictos en datos de superficie por categoría, pues dará doble superficie para un mismo elemento. Por lo anterior se aplicó el macro encargado de encontrar polígonos con más de una etiqueta o sin etiqueta, para su corrección.

3.2.3 Detección de cambio 2004-2005

Se realizó un cruce entre las capas de primera y segunda fecha (2004-2005) en el SIG Arcinfo 9. Como resultado se generó una nueva capa con los polígonos correspondientes a las transformaciones dentro del periodo (Mapa de cambio). De dicha capa se extrajeron los datos de cambio para llenar la Matriz de transformación, obtener el tipo de cambio y superficie.

Capítulo 4 Resultados y Discusión

4.1 Resultados

En este apartado se presentan los resultados de los procesos desarrollados para obtener la cartografía de las cubiertas del suelo de la Región La Chinantla de los años 2004 y 2005 y el mapa de cambio, así como una descripción de los resultados estadísticos de cada fecha de análisis por separado y del mapa de cambio.

4.1.1 Ortorectificación de imágenes SPOT del 2004 y 2005

Para esta etapa en el bloque 2004 no se encontró la imagen con K-J 594/314, por lo tanto se decidió ortorectificar primero el bloque de las imágenes del año 2005. El bloque 2005 quedó ensamblado por 5 escenas SPOT que se les asignaron 191 GCP, los cuales se buscaron sobre las imágenes LANDSAT ETM+ del 2000 remuestreada a 15 metros. La resolución de la base debería de ser mayor que las imágenes a corregir, debido a las condiciones del proyecto, no se contó con ortofotos para utilizarlas de base, sin embargo por ser una escala 1:50,000, se puede aceptar la diferencia de resolución. Por lo que corresponde al valor de altitud (Z), se tomó del DEM. La distribución de los puntos y el bloque ensamblado para el año 2005, se puede observar en la figura 4.1.

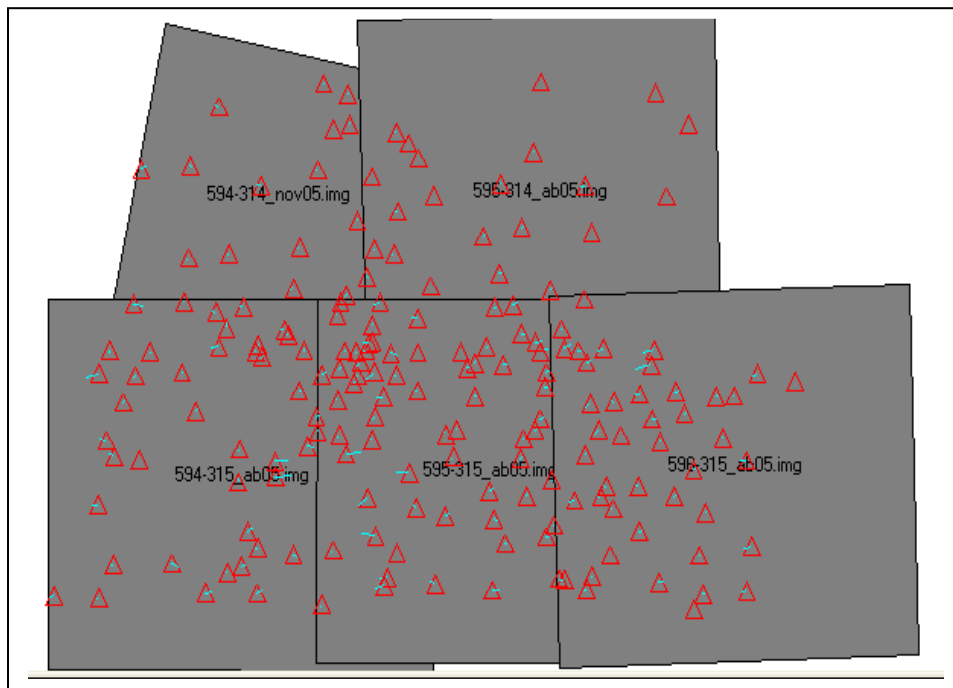


Figura 4.1. Bloque 2005 con distribución de GCP

Teniendo el bloque ortorectificado del 2005, se utilizó como base para la obtención de los GCP del año 2004, esto se decidió para aprovechar la resolución espacial de los dos bloques (10 metros), pues los rasgos geográficos son más fáciles de identificar.

De la misma forma que en bloque 2005, se distribuyeron 123 GCP para el 2004 conforme a la intensidad del relieve (Fig. 4.2).

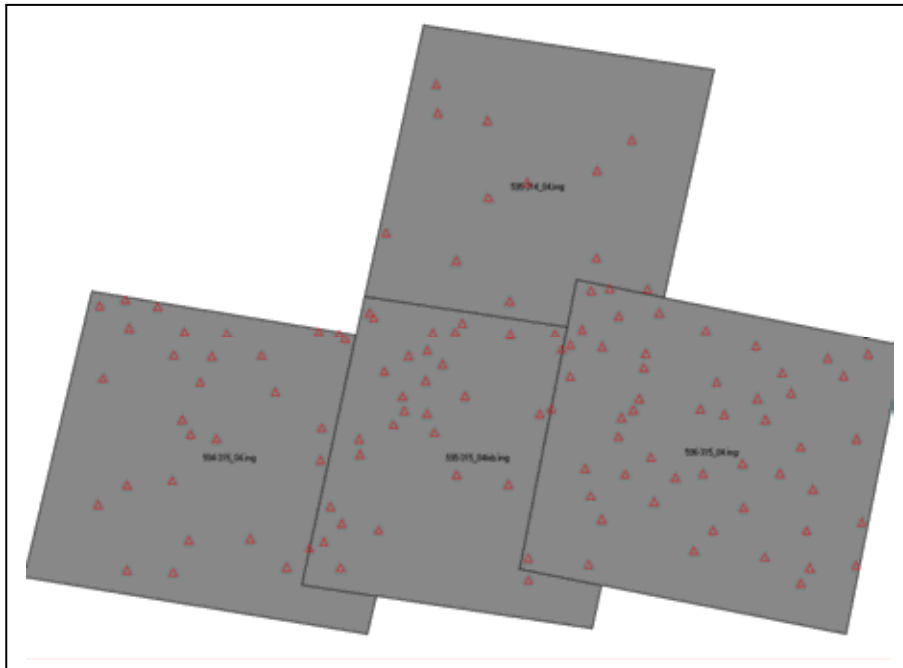


Figura 4.2. Bloque 2004 con distribución de GCP

En la Tabla 4.1 se muestra la distribución de los puntos por cada escena de los bloques 2004 y 2005. En el bloque 2004 se colocaron menos GCP debido a la falta la escena 594/314.

K/J	GCP's		Relieve del terreno
	2004	2005	
594/314	No existe	14	bajo
594/315	28	42	alto
595/314	12	23	bajo
595/315	30	67	alto
596/315	53	45	alto

Tabla 4.1. Distribución de GCP bloque 2004 y 2005

El RMSE calculado para cada bloque (2004-2005) se encuentra en la Tabla 4.2.

BLOQUE SPOT5	TOTAL DE GCP's	RMSE
2004	123	1.2
2005	191	1.1

Tabla 4.2. RMSE de cada bloque

De acuerdo con la Subdirección de Percepción Remota de la Dirección de Investigaciones en Nuevas Tecnologías de Sistemas Nacionales Estadísticos de Información Geográfica del INEGI, el producir orto-imágenes dentro de 10 metros de error, es suficiente para cartografía escala 1:50000 y hasta 1:25000.

4.1.2 Clasificación automatizada

En este proceso se utilizó en método "No Supervisado", donde en cada escena que cubre la Región de La Chinantla se determinaron 100 clusters para conseguir la mayor separación entre las categorías de la leyenda diseñada. Se decidió utilizar las imágenes del 2004 como base de clasificación, a partir de dicha fecha se generó las cubiertas del suelo para el año 2005. En la figura 4.3 se muestra la imagen temática de la escena SPOT 595/314, ya con los colores asignados por categoría de acuerdo a la leyenda pero aún con los 100 clusters de la clasificación No Supervisada. Se puede apreciar muy claramente la presa Miguel Alemán (en color azul) que representa la categoría "Cuerpos de Agua", y también se consiguió definir el cause de los ríos Usila, Solayapam y Cajones. Y a los lados de estos ríos se encuentran las zonas donde principalmente se desarrollan las actividades agropecuarias (color verde).

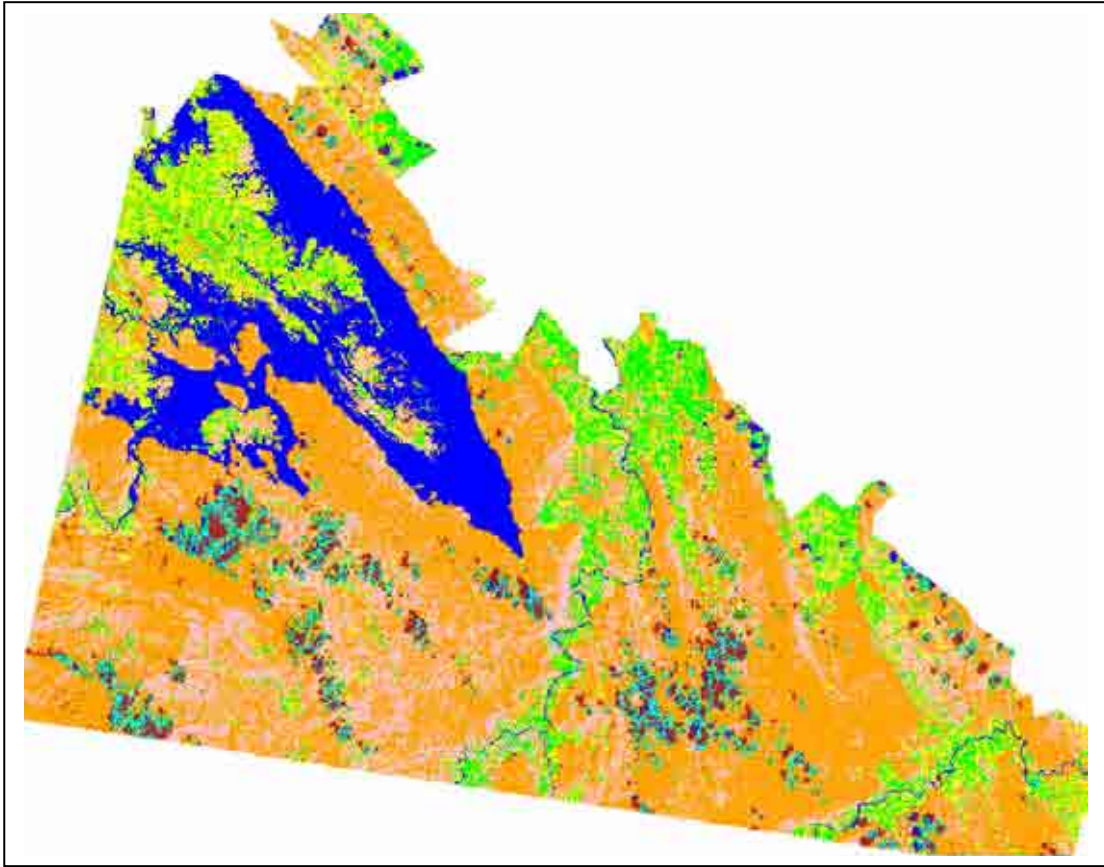


Figura 4.3. Imagen 595-314 clasificada por método no supervisado, 100 cluster

En la figura 4.4 se incluyen todas las imágenes clasificadas por el método No Supervisado con 100 clusters que conforman el bloque 2004. En color verde oscuro se representa el "Bosque Mesófilo de Montaña" en anaranjado las selvas, en rosa selvas con vegetación secundaria y amarillo las áreas con pastizales. Existe una mezcla entre las categorías, algo común al momento de utilizar métodos automatizados de clasificación (Chuvienco, 2002). Esta confusión es más evidente en la parte de fronteras entre las escenas.

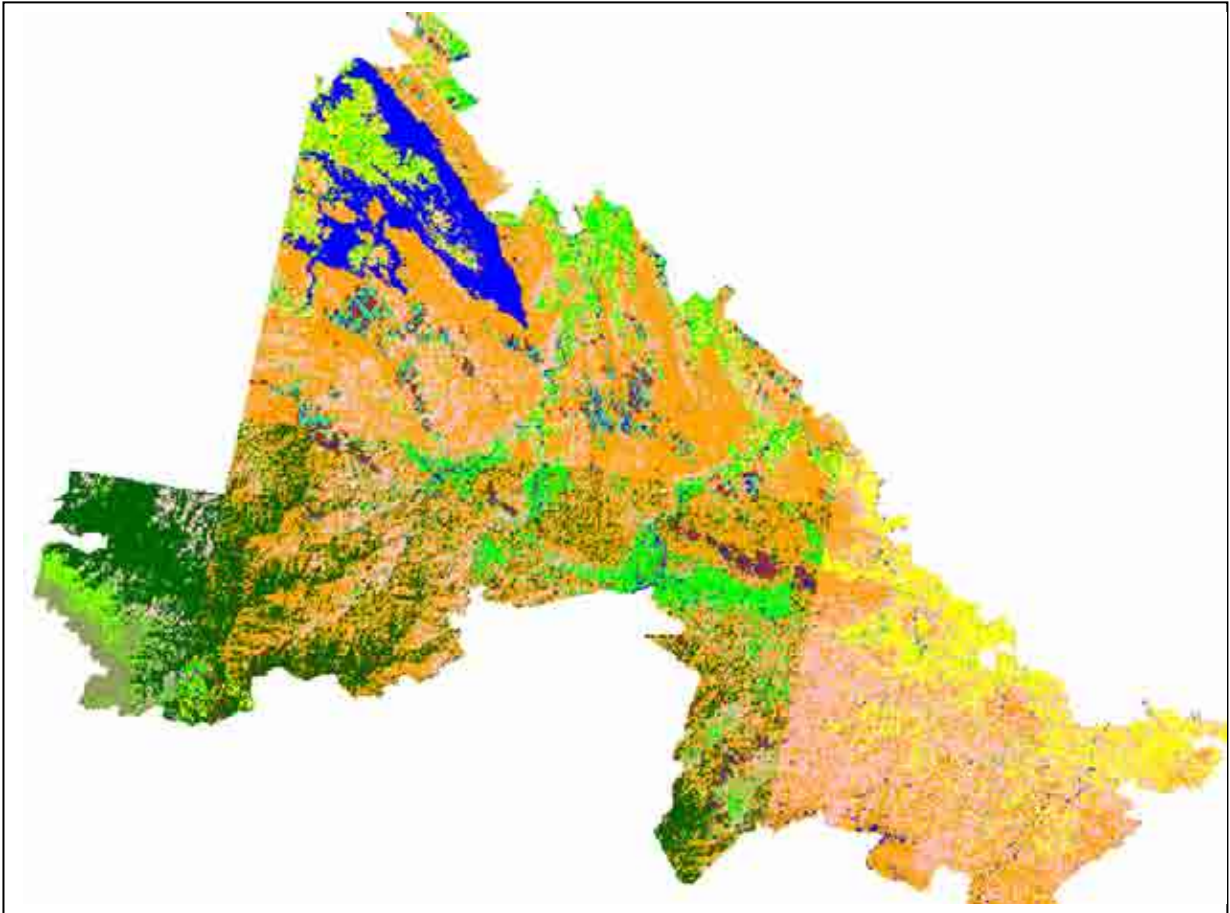


Figura 4.4. Bloque 2004 no supervisado 100 clusters

A cada escena clasificada con 100 cluster se le aplicó el proceso de re-codificación, para de esta forma únicamente tener las 15 categorías de la leyenda. Cabe destacar que las clases que no se consiguieron separar debido a la variedad de respuesta espectral de los elementos que las conforman, fueron: "Infraestructura", "Zona Urbana" y "Área Sujeta a Inundación", pues al momento de incluirlas generaron mucho ruido a las clases que se lograron separar bien, por lo tanto se decidió delimitarlas hasta el proceso de interpretación visual.

La primera interpretación visual asistida por el procesador se realizó con la herramienta de relleno de ERDAS Imagine sobre la capa raster

clasificada. En esta etapa se consiguió separar las categorías que presentaban confusión con otras, se agrupó en una sola clase las nubes y sombras para posteriormente eliminarlas en la interpretación vectorial, además de arreglar las discrepancias de las zonas de liga entre las imágenes clasificadas (Figura 4.5).

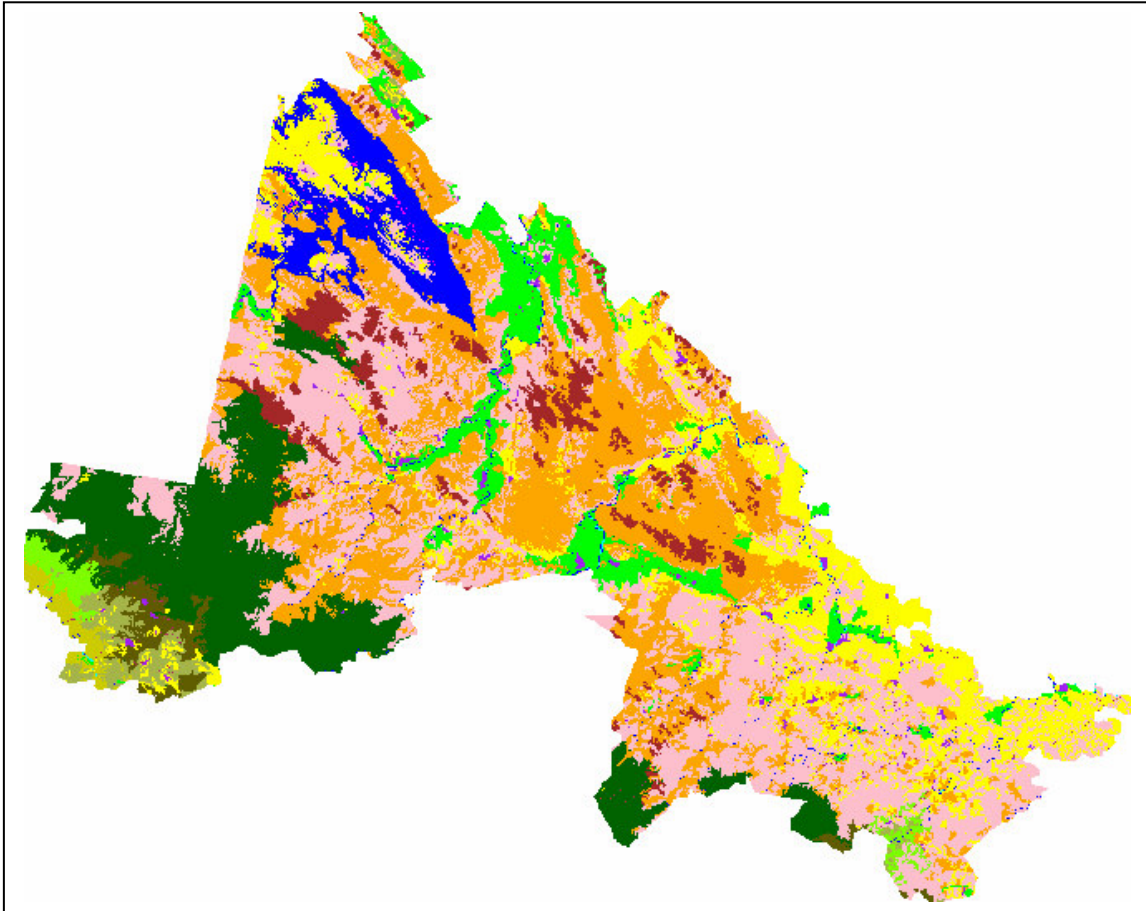


Figura 4.5. Bloque 2004 recodificado a 15 clases y con la primera interpretación visual.

Con la imagen temática de cada una de las escenas del 2004, se realizó la conversión de formato raster a vectorial. La primera tarea fue suavizar los arcos de las 5 capas, pues al ser adquirida de un archivo *raster* la forma de las líneas es el resultado de las fronteras entre un píxel y otro. Esto es, son líneas escalonadas de acuerdo a la resolución espacial de la imagen de origen, cada 10 metros para el caso de SPOT 5, que

corresponde a la distancia mínima que existe. Se eliminó la MUC a cada cobertura y se unieron para formar una sola de capa de la Cubierta Vegetal del 2004. Para esto, fue necesario terminar de corregir las zonas de liga entre las coberturas para finalmente realizar las topologías.

Teniendo la capa de la Cubierta del Suelo del 2004, se procedió a realizar la segunda interpretación visual en formato vectorial. Con apoyo de las imágenes 2005, se eliminó la categoría “Nubes y sombras” de las escenas del 2004 (Figura 4.6).

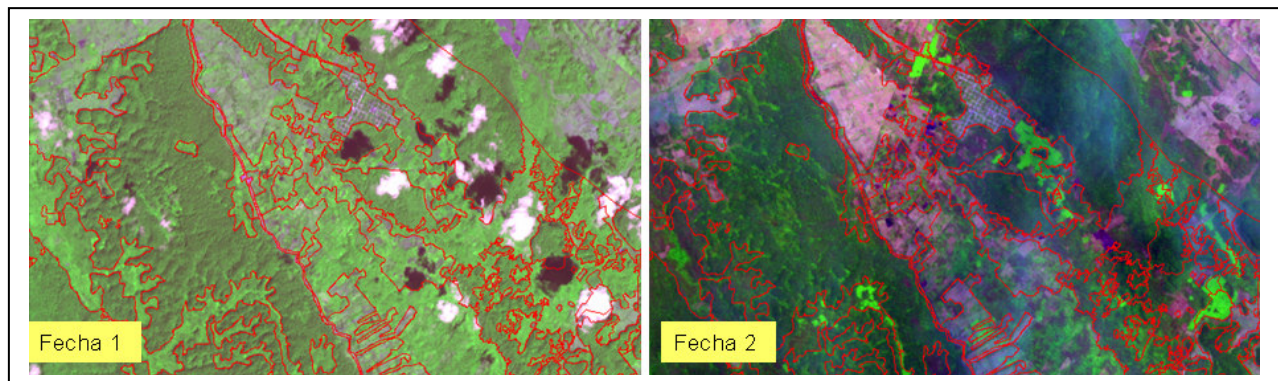


Figura 4.6. Nubes y sombras que aparecen en la fecha 1, son eliminadas de la cobertura, con apoyo de la imagen de la fecha 2.

Para generar la capa de la Cubierta del Suelo del 2005, se realizó una interpretación visual en pantalla sobreponiendo la capa de la Cubierta Vegetal del 2004 a las imágenes SPOT del 2005, modificando sólo las formas de los elementos lineales, que mostraban alguna transformación de una fecha a otra (FAO, 1996, 2000). Las categorías asignadas para el 2005, son las mismas que se utilizaron en el 2004. Se hizo de esta forma para evitar que en el momento de hacer el análisis de transformación, se presentaran falsos cambios por posibles errores de posición o de clasificación.

A la imagen 594-314 del año 2005 se le hizo una interpretación visual sin generar la clasificación automatizada. Se tomó esta decisión por que el

área que cubre esta imagen está ocupada principalmente por actividades humanas. La cobertura de la imagen 594-314 del 2005, fue utilizada para cubrir la información que faltaba para el 2004 (por falta de la imagen de primera fecha) entendiéndose que al ser una escala tiempo pequeña para este análisis y al presentar solo actividades humanas no existieran cambios que afecten a las cubiertas forestales.

4.2.1 Cubierta del suelo 2004

A partir de la capa de la Cubierta del Suelo del año 2004 (Fig. 4.7), se generó la tabla 4.3, en la cual se vaciaron los datos de superficie que ocupa cada clase así como el dato en porcentaje de cubrimiento del área total.

CUBIERTAS DEL SUELO	SPOT 2004	
	Ha	%
Superficie		
Área sin vegetación aparente	443	0.10
Bosque de encino	3,246	0.71
Bosque de pino-encino	4,428	0.96
Bosque mesófilo de montaña	52,920	11.52
Selva alta y mediana perennifolia	113,612	24.73
Bosque de pino-encino con vegetación secundaria	5,427	1.18
Bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria	8,361	1.82
Selva alta y mediana perennifolia con vegetación secundaria	136,594	29.73
Infraestructura	1,071	0.23
Pastizales	79,355	17.27
Zona agrícola	30,579	6.66
Zona urbana	3,165	0.69
Área sujeta a inundación	228	0.05
Cuerpo de agua	20,057	4.37
TOTAL	459,489	100

Tabla 4.3. Uso de suelo y vegetación 2004 SPOT.

Para el manejo de la información adquirida de la capa de la Cubierta del Suelo, las categorías utilizadas para la clasificación se

agruparon en vegetación "Forestal" y "No forestal", de acuerdo con la Ley Forestal (1997). La primera se refiere a la cubierta vegetal, y la segunda a los usos de suelo o procesos que transformaron la cubierta vegetal. Se adicionaron también el grupo de "Forestal secundario" que contiene a las cubiertas vegetales con presencia de vegetación secundaria; y finalmente el grupo de "Otras cubiertas" el cual contiene cuerpos de agua (Tabla 4.4).

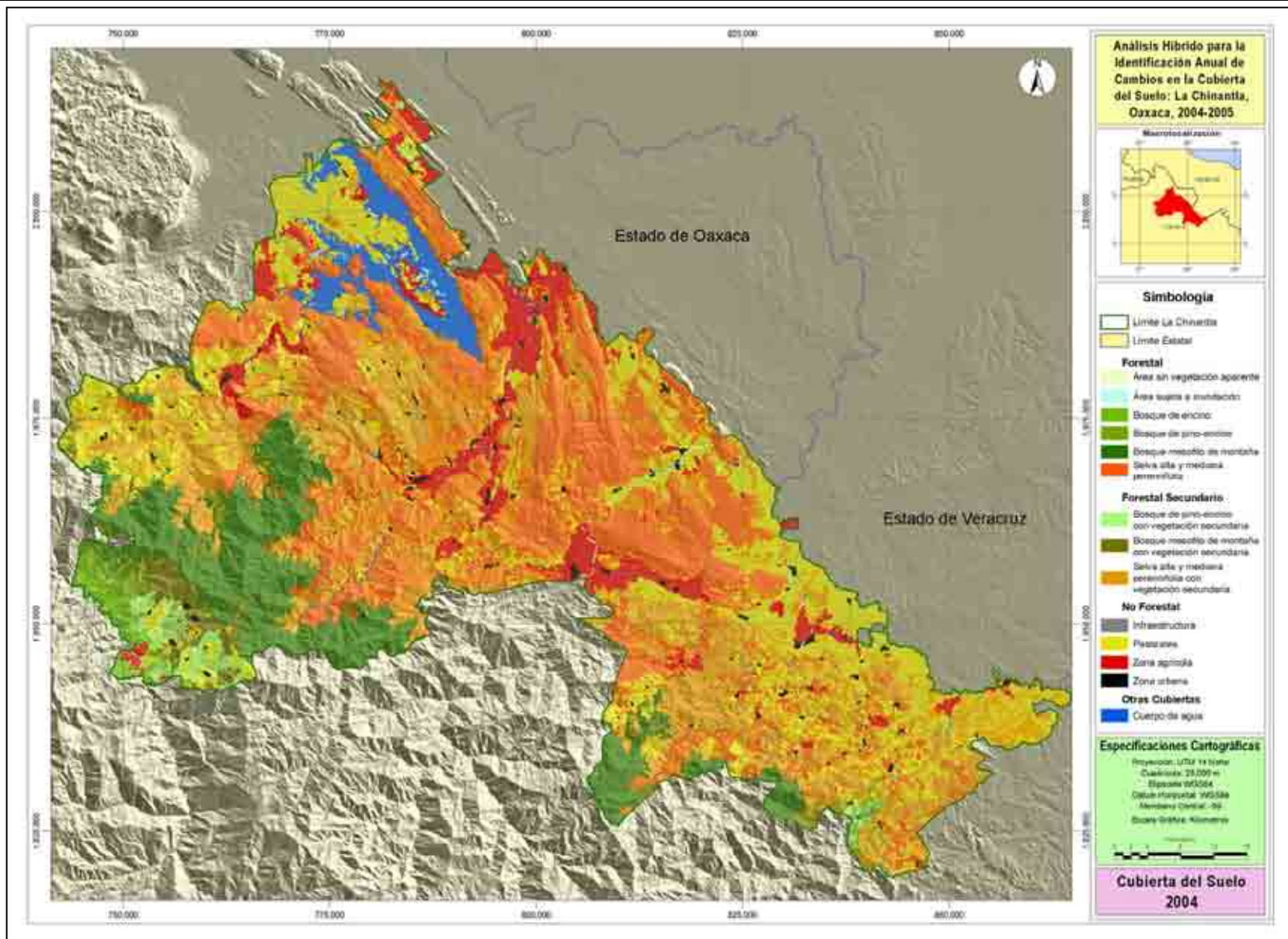


Figura 4.7. Cobertura del Suelo 2004

El primer grupo, "Forestal", se cubre un total de 174,877 ha que representan 38.02% del total del territorio del área de estudio. En este grupo se encontró que la "Selva alta y mediana perennifolia" es la clase que más superficie abarca con 113,611 ha (24.73%); el "Bosque mesófilo de montaña" le sigue con 52,920 ha representando el 11.52%; el "Bosque de pino-encino" cubre 4,428 ha siendo únicamente el 0.96%; el "Bosque de encino" tiene una ocupación de 3,246 ha con el 0.71%; el "Área sin vegetación aparente" presenta 444 ha con el 0.10% y finalmente el "Área sujeta a inundación" que es la clase con menor representación tiene en La Chinantla, cubre 228 ha es decir, sólo el 0.05%.

CUBIERTAS DEL SUELO		SPOT 2004	
Superficie	Ha	%	
Área sin vegetación aparente	444	0.10	
Área sujeta a inundación	228	0.05	
Bosque de encino	3,246	0.71	
Bosque de pino-encino	4,428	0.96	
Bosque mesófilo de montaña	52,920	11.52	
Selva alta y mediana perennifolia	113,612	24.73	
Subtotal	174,877	38.02	
FORESTAL SECUNDARIO			
Bosque de pino-encino con vegetación secundaria	5,427	1.18	
Bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria	8,362	1.82	
Selva alta y mediana perennifolia con vegetación secundaria	136,594	29.73	
Subtotal	150,383	32.73	
NO FORESTAL			
Infraestructura	1,073	0.23	
Pastizales	79,355	17.27	
Zona agrícola	30,579	6.66	
Zona urbana	3,165	0.69	
Subtotal	114,171	24.85	
OTRAS COBERTURAS			
Cuerpo de agua	20,058	4.37	
Subtotal	20,058	4.37	
TOTAL	459,489	100.00	

Tabla 4.4. Clases agrupadas 2004

El siguiente grupo, "Forestal Secundario", cubre un total de 150,383 ha, siendo entonces el segundo grupo con mayor cobertura con el 32.73%. En este grupo se encuentra la clase que mayor superficie ocupa del área de estudio, y corresponde a la "Selva alta y mediana perennifolia con vegetación secundaria" con 136,594 ha, que corresponde al 29.73% del total del territorio. El "Bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria" se encontró en 8,362 ha representando el 1.82%; por último, el "Bosque de pino-encino con vegetación secundaria" con 5,427 ha siendo el 1.18% del territorio.

Para el grupo "No Forestal" existen 114,171 ha representando el 24.85% del territorio de La Chinantla. La clase que cubre mayor superficie es la de "Pastizales" con 79,355 ha que corresponden al 17.27%; la "Zona agrícola" ocupa 30,579 ha representando el 6.66%; la "Zona urbana" se halló en 3,165 ha, que es el 0.69% del área total; por lo que respecta a "Infraestructura" se marcaron 1,073 ha significando el 0.23%.

El último grupo, "Otras coberturas", tiene un total de 20,058 ha correspondientes a "Cuerpo de agua".

4.2.2 Cubierta del suelo 2005

Los datos de superficie total por categoría de la capa de la Cubierta del Suelo del 2005 (Fig. 4.8), se encuentra en la tabla 4.5.

CUBIERTAS DEL SUELO	SPOT 2005	
	Ha	%
Área sin vegetación aparente	443	0.10
Bosque de encino	3,246	0.71
Bosque de pino-encino	4,428	0.96
Bosque mesófilo de montaña	52,870	11.51
Selva alta y mediana perennifolia	113,344	24.67
Bosque de pino-encino con vegetación secundaria	5,375	1.17
Bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria	8,362	1.82
Selva alta y mediana perennifolia con vegetación secundaria	135,365	29.46
Infraestructura	1,072	0.23
Pastizales	80,878	17.60
Zona agrícola	30,594	6.66
Zona urbana	3,176	0.69
Área sujeta a inundación	180	0.04
Cuerpo de agua	20,156	4.39
TOTAL	459,489	100

Tabla 4.5. Cubierta del Suelo 2005 SPOT.

De la misma forma que los datos del 2004, los del 2005 se agruparon en "Forestal", "No Forestal", "Forestal Secundario" y "Otras Cubiertas", (Tabla 4.6).

CUBIERTAS DEL SUELO		SPOT 2005	
Superficie	Ha	%	
Área sin vegetación aparente	443	0.10	
Área sujeta a inundación	180	0.04	
Bosque de encino	3,246	0.71	
Bosque de pino-encino	4,428	0.96	
Bosque mesófilo de montaña	52,870	11.51	
Selva alta y mediana perennifolia	113,344	24.67	
Subtotal	174,511.71	38.02	
FORESTAL SECUNDARIO			
Bosque de pino-encino con vegetación secundaria	5,375	1.17	
Bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria	8,362	1.82	
Selva alta y mediana perennifolia con vegetación secundaria	135,365	29.46	
Subtotal	149,101.96	32.48	
NO FORESTAL			
Infraestructura	1,072	0.23	
Pastizales	80,878	17.60	
Zona agrícola	30,594	6.66	
Zona urbana	3,176	0.69	
Subtotal	115,720	25.18	
OTRAS COBERTURAS			
Cuerpo de agua	20,156	4.39	
Subtotal	20,156	4.39	
TOTAL	459,489	100.00	

Tabla 4.6. Clases agrupadas 2005

De acuerdo a nuestra capa de la Cubierta del Suelo del 2005, el grupo "Forestal" cubre el 38.02% de la superficie total de La Chinantla. Se distribuye en "Selva alta y mediana perennifolia" con el 24.67% que corresponden a 113,344 ha. "Bosque mesófilo de montaña" que cubre 52,870 ha equivalentes a 11.51%. "Bosque de pino-encino" que representa el 0.96% con 4,428 ha. "Bosque de encino" se identificaron 3,246 ha siendo el 0.71%; el "Área sin vegetación aparente" con 443 con el 0.10%, y finalmente "Área sujeta a inundación" se delimito en 180 ha únicamente con el 0.04%.

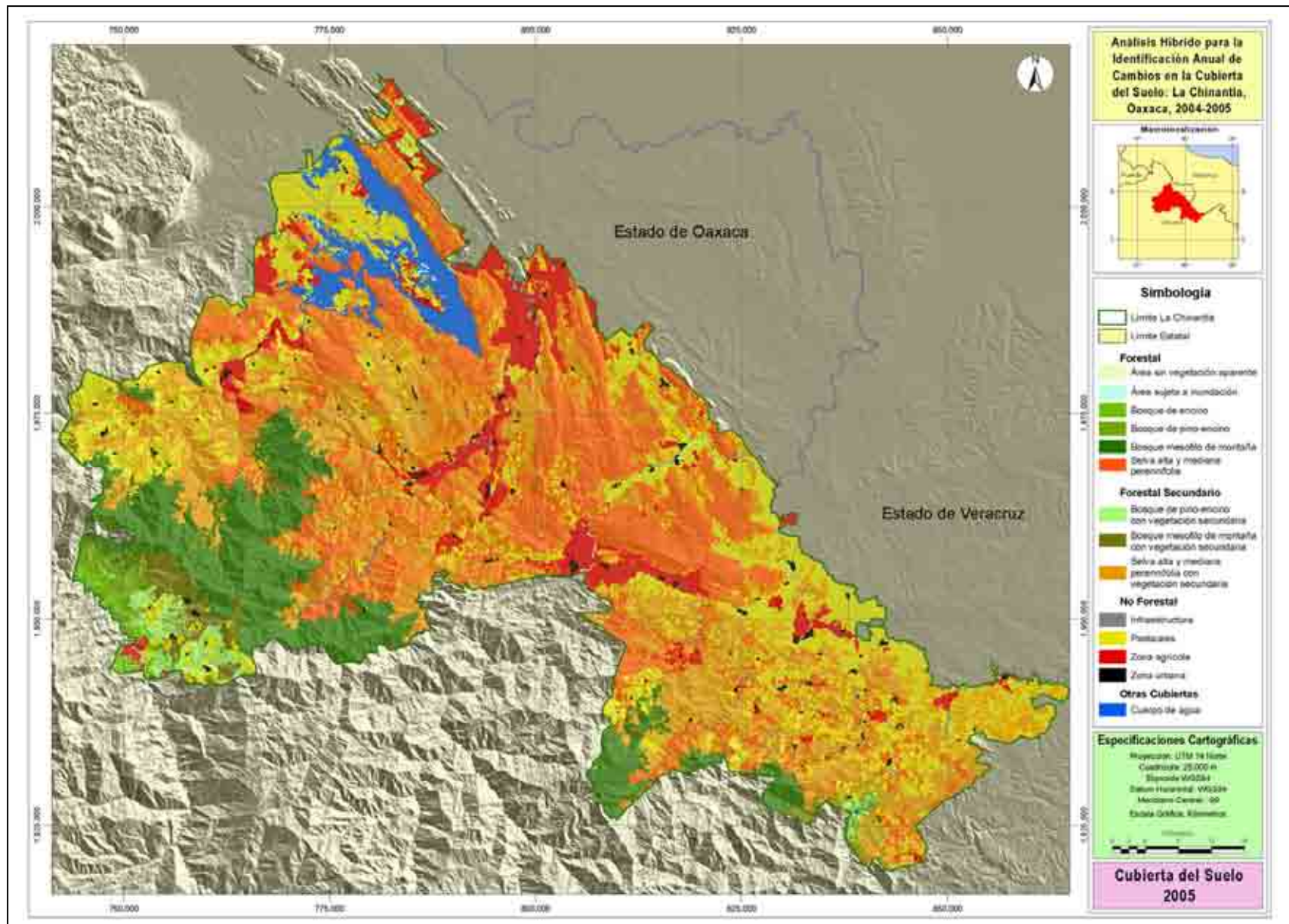


Figura 4.8. Cobertura del Suelo 2005

El grupo "Forestal Secundario" cubre 149,102 ha que es el 32.45%. Y como era de esperarse, igual que en el 2004, la "Selva alta y mediana perennifolia con vegetación secundaria" es la categoría con mayor extensión de La Chinantla con 135,365 ha que representan el 29.46%. Para el "Bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria" se encontraron 8,362 ha siendo el 1.82% y para el "Bosque de pino-encino con vegetación secundaria" 5,375, 1.17%.

El grupo "No forestal", cubre un total del 115,720 ha correspondientes al 25.18% de La Chinantla. La categoría de "Pastizales" es la que se representa con mayor superficie: 80,878 ha que cubren el 17.60% del área en estudio. La "Zona agrícola" se marca con 30,594 ha siendo el 6.66%; para "Zona urbana" hay 3,176 ha que representan el 0.69% y para la infraestructura se identificaron 1,072 ha siendo únicamente el 0.23% del total del territorio.

En el grupo "Otras cubiertas", se delimitaron 20,156 ha, 4.39% del área de estudio se cubre con "Cuerpo de agua".

4.2.3 Análisis de Cambio de la Cubierta del Suelo 2004-2005

La tabla 4.7, muestra de forma general los cambios que se presentaron dentro del periodo (2004-2005).

USO DE SUELO Y VEGETACION	SPOT 2004		SPOT 2005	
	Ha	%	Ha	%
FORESTAL				
Area sin vegetación aparente	444	0.10	443	0.10
Area sujeta a inundacion	228	0.05	180	0.04
Bosque de encino	3,246	0.71	3,246	0.71
Bosque de pino-encino	4,428	0.96	4,428	0.96
Bosque mesofilo de montaña	52,920	11.53	52,870	11.52
Selva alta y mediana perennifolia	113,612	24.75	113,344	24.69
Subtotal	174,877	38.10	174,512	38.02
FORESTAL SECUNDARIO				
Bosque de pino-encino con vegetación secundaria	5,427	1.18	5,375	1.17
Bosque mesofilo de montaña con vegetación secundaria	8,362	1.82	8,362	1.82
Selva alta y mediana perennifolia con	136,594	29.76	135,365	29.49
Subtotal	150,383	32.76	149,102	32.48
NO FORESTAL				
Infraestructura	1,072	0.23	1,072	0.23
Pastizales	79,355	17.29	80,878	17.62
Zona agricola	30,579	6.66	30,594	6.66
Zona urbana	3,165	0.69	3,176	0.69
Subtotal	114,171	24.87	115,720	25.21
OTRAS COBERTURAS				
Cuerpo de agua	20,058	4.37	20,156	4.39
Subtotal	20,058	4.37	20,156	4.39

Tabla 4.7 Superficie de Cubiertas del Suelo

El grupo "Forestal" de tener 174,877 ha, en el 2004, para el 2005 se identificaron 174,511 ha, lo que demuestra que se perdieron 365 ha de ese grupo durante el periodo. Así mismo, el grupo "Forestal secundario" en 2004 tenían una superficie de 150,383 ha y en el 2005 149,102 ha, por lo que 1,281 ha de este grupo cambiaron a otras categorías. Por el contrario, el grupo "No forestal" en 2004 marcaba 114,171 ha y en el 2005 tuvo un ligero incremento a 115,720 ha, es decir, un aumento de 1,548 ha. Finalmente "Otras cubiertas" pasaron de 20,501ha en el 2004, a 20,599 ha en 2005, siendo un aumento de 98 ha.

Para generar la información de superficie transformada por categoría, se hizo un cruce de las capas correspondientes al 2004 y 2005,

resultando un mapa con superficies transformadas. A partir de la base de datos resultante de la sobreposición, se calculó la superficie con algún tipo de transformación (Fig. 4.9). De acuerdo con Ramírez y Zubieta (2005), los tipos de cambio en este trabajo son:

1. Deforestación: Pérdida del arbolado, denso o abierto, por cambio a usos no forestales
2. Perturbación: Pérdida o aclarado del arbolado sin cambio en el uso de suelo
3. Recuperación: Restablecimiento de arbolado denso sobre áreas perturbadas, aclaradas o de perturbación arbustiva
4. Revegetación: Establecimiento de vegetación secundaria por abandono de parcelas agrícolas o pecuarias

Se adicionó un tipo de cambio más:

5. "Rotación" el cual hace referencia a la dinámica que existe entre las categorías de "zona agrícola" a "pastizales" y viceversa.

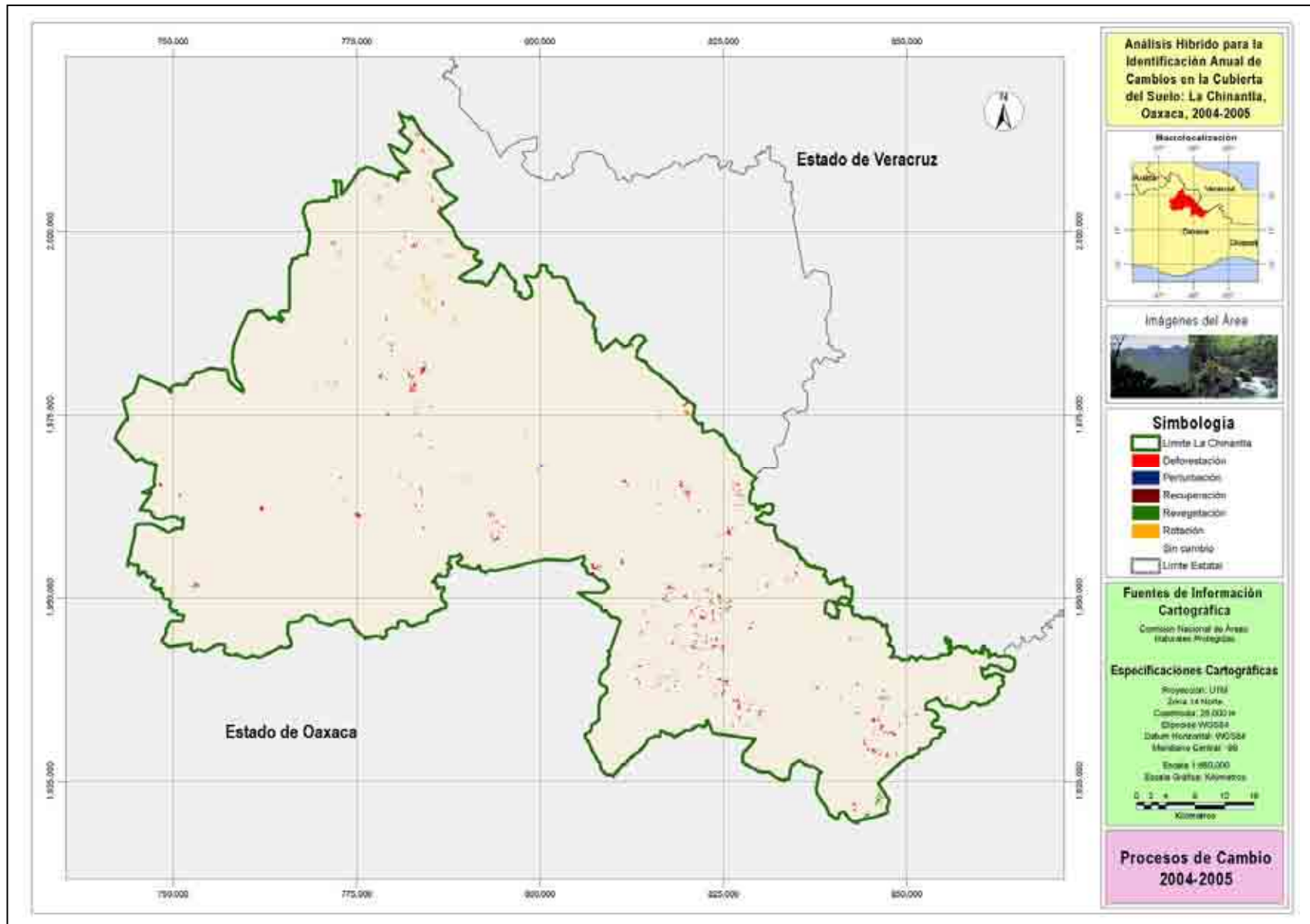


Figura 4.9. Mapa de Cambio del 2004-2005 de La Chinantla

La superficie transformada en cada categoría de cambio se puede observar en la tabla 4.8, la cual identifica los procesos encontrados tanto en hectáreas como en porcentaje.

DINÁMICA DE CAMBIO	HA	%
Deforestación	1,847.04	0.40
Perturbación	37.61	0.01
Recuperación	0.82	0.00
Revegetación	249.31	0.05
Rotación	160.06	0.03
Sin cambio	457,194.62	99.50
TOTAL	459,489.46	100.00

Tabla 4.8. Superficie y porcentaje por tipo de cambio

De acuerdo con la tabla anterior, dentro del periodo de análisis, el 99.50% de la superficie total de La Chinantla no ha tenido ningún tipo de cambio. El 0.50% restante a cambiado durante el periodo de un año (2004-2005), siendo la Deforestación el proceso con mayor superficie, con un total de 1,847 ha.

Matriz de cambio	2005													Total 2004	
	Area sujeta a inundacion	Bosque de encino	Bosque de pino-encino	Bosque mesofilo de montaña	Selva alta y mediana perennifolia	Bosque de pino-encino CVS	Bosque mesofilo de montaña CVS	Selva alta y mediana perennifolia CVS	Infraestructura	Pastizales	Zona agricola	Zona urbana	Cuerpo de agua		Area sin vegetación aparente
Area sujeta a inundacion	179.48												48.36		227.84
Bosque de encino		3,246.00													3,246.00
Bosque de pino-encino			4,428.22												4,428.22
Bosque mesofilo de montaña				52,870.37	0.02			0.00		49.58					52,919.96
Selva alta y mediana perennifolia					113,343.09			37.61		211.20	19.77				113,611.66
Bosque de pino-encino CVS						5,374.43				36.12	15.67		0.97		5,427.18
Bosque mesofilo de montaña CVS							8,361.89								8,361.89
Selva alta y mediana perennifolia CVS					0.82			135,078.71		1,403.48	101.10	10.12			136,594.24
Infraestructura								0.01	1,071.80	0.02					1,071.83
Pastizales						0.18	0.59	245.22	0.03	79,034.03	22.47	0.74	51.36		79,354.62
Zona agricola					0.00	0.28		3.04		137.59	30,434.83		3.64		30,579.38
Zona urbana										0.06		3,165.43			3,165.49
Cuerpo de agua	0.53									5.49	0.00		20,051.58	0.00	20,057.60
Area sin vegetación aparente													0.36	443.18	443.54
Total 2005	180.01	3,246.00	4,428.22	52,870.37	113,343.93	5,374.89	8,362.48	135,364.59	1,071.83	80,877.58	30,593.83	3,176.29	20,156.26	443.18	

- Deforestación
- Perturbación
- Recuperación
- Revegetación
- Rotacion

Tabla 4.9. Matriz de cambio en las cubiertas del suelo del periodo 2004-2005 de La Chinantla

Los datos de superficie transformada (en hectáreas), se adicionaron en una matriz de cambio (Tabla 4.9). En ella se encuentra la información de superficie transformada entre categorías de la primera y la segunda fecha.

Con la matriz de cambio se obtuvo la superficie transformada entre las categorías de la primera y segunda fecha. Las celdas en color gris representan la superficie que dentro del periodo de estudio no sufrió alteraciones que se manifiesten en cambio (ganancia o pérdida de superficie de alguna categoría).

Se observa que el proceso de Perturbación se ha dado solamente sobre la selva alta y mediana perennifolia, se puede pensar que ha sido provocado por la extracción de maderas, ya sea para crear nuevas parcelas de actividad agropecuaria o consumo de leña. Por lo que corresponde a la Deforestación, principalmente se debe a la expansión de usos agropecuarios (pastizales y zonas agrícolas), siendo en este caso la Selva alta y mediana perennifolia con vegetación secundaria la que mayor superficie ha perdido. Esto refleja que, en La Chinantla, el cambio de una cubierta forestal a otra antrópica, pasa primero por una etapa intermedia de perturbación forestal. Por otra parte, en menor proporción se da un crecimiento urbano que produce también en la deforestación en forma directa.

La Recuperación, en este periodo ha sido casi inexistente, pues contemplando solo un año de estudio difícilmente se podían dar las condiciones para que sucediera una transición de cubiertas de vegetación secundaria a primaria. En el caso de la Revegetación, el dato más representativo corresponde a transformación de Pastizales a Selva

Alta y Mediana Perennifolia con Vegetación Secundaria con 245 ha, esto se deben al hecho de que existen parcelas abandonadas (las cuales se ocupaban para el desarrollo de alguna actividad humana) en las que se de un desarrollo de vegetación natural, principalmente arbustiva y herbácea, que da lugar a una respuesta espectral similar a la de la cubierta forestal perturbada. Finalmente, en Rotación se consideró el mismo abandono de las parcelas que eran ocupadas en la actividad agrícola en la primera fecha y en el 2005 dejan de serlo y de inmediato son cubiertas por pastos que en ocasiones se utilizan en la práctica de pastoreo; es la misma situación para las zonas que presentaban pastos inducidos en el 2004 y en el 2005 cambian a la actividad agrícola. Esto se presenta en la parte baja de La Chinantla, en el mapa de cambio (Fig. 4.9) se ubican principalmente en el municipio de San Lucas Ojitlán.

4.2.4 Tasa de Transformación

Se calculó la tasa de transformación (Tabla 4.11) de acuerdo con la fórmula propuesta por la FAO (1996). Como línea base (2004-2005), existe una tendencia a la pérdida de cubierta forestal. En un año 1,647 ha forestales sufrieron algún tipo de cambio.

Período	Fecha 1 Forestal	Fecha 2 Forestal	Año	(%) Tasa de cambio anual	HA/año
2004-2005	325,261	323,614	1	0.51	1,647

Tabla 4.11. Tasa de transformación de La Chinantla

La tasa de cambio anual del 0.51% encontrado en La Chinantla, contrasta con el promedio anual de 0.60% que se obtiene de las capas de uso de suelo y vegetación de INEGI Serie II y III, en el cual, de acuerdo con sus datos, se transforman 2,132 ha al año. Dicha tasa es alta, considerando

que La Chinantla ha sido declarada área prioritaria para la conservación y el desarrollo sustentable (Aguilar, 2005) y que las selvas son la cubierta que más cambios presentan a nivel Nacional (Velázquez 2002).

Se entiende que el deterioro es resultado de procesos de cambio de uso del suelo. La magnitud y velocidad de estos cambios no son iguales para los 15 municipios. Factores que condicionan el desarrollo de actividades productivas, como la topografía, favorecen la sustitución de cubiertas forestales por actividades agrícolas y pecuarias (Lobo, M., 1973); es el caso de municipios como Lalana y Jocotepec, con terrenos ubicados sobre las planicies aluviales y llanuras de piedemonte donde se encuentran suelos fértiles y profundos.

Generalmente la roza-tumba-quema permite 2 a 3 años de cultivo y después se abandona, lo que inicia el periodo de recuperación natural de la vegetación (Negreros P., 1999). La práctica de agricultura de temporal, como la roza-tumba y quema remueven la cubierta vegetal por períodos de tiempo cortos, con la consecuente pérdida temporal de recursos bióticos del ecosistema de selva. Sin embargo, la lógica del cultivo (siembra de un par de años y un lapso de descanso de varios años) permite recuperar parcialmente la capacidad productiva de los suelos y la regeneración secundaria de las selvas o de los bosques. Sin embargo los ciclos de tala se vuelven cada vez más cortos (Butler, A. 2007), y debido a la presión que el hombre ejerce sobre los bosques, el ciclo de recuperación de la cubierta forestal disminuye y esto no permite la regeneración de los bosques.

4.3 Discusión

El utilizar métodos de percepción remota y SIG para la obtener resultados del cambio de la cobertura vegetal y el uso de suelo a través del tiempo, está demostrado que es una forma muy eficaz de llegar a resultados de una forma práctica y rápida, pues los procedimientos que sirven para observar y monitorear los recursos naturales así como almacenar y analizar el resultado de estas observaciones se incluyen en percepción remota y SIG.

En la tabla 4.12, se muestran los resultados de las capas de las cubiertas del suelo de La Chinantla: serie II, III, Velasco y Cruz 2002 y las obtenidas en este trabajo. Las cubiertas de suelo se agruparon en Forestal, No Forestal y Cuerpo de Agua. Se hizo la re-categorización debido a las diferentes leyendas que presenta cada capa, lo cual iba a dificultar la comparación entre ellas.

INSUMO	PRODUCTO	FORESTAL	%	NO FORESTAL	%	CUERPO DE AGUA	%
TM	Serie II 1993	362,120	79	83,431	18	13,938	3
ETM+	Serie III 2002	343,529	75	102,406	22	13,555	3
ETM+	Velasco y Cruz 2000	365,774	80	77,175	17	16,538	4
ETM+	Velasco y Cruz 2002	308,069	67	132,501	29	18,916	4
SPOT XS	USV 2004	325,261	71	114,615	25	20,058	4
SPOT XS	USV 2005	323,614	70	116,163	25	20,156	4

Tabla 4.12. Superficie en Ha de La Chinantla, con distintos insumos y métodos

De acuerdo con la tabla anterior, se puede observar que los porcentajes para las categorías de Serie II y III, presentan diferencias que se que se pueden interpretar como la lógica de cambio a través del tiempo.

Lo Forestal de serie II se reduce del 79% al 75% de serie III y aumentando del 18% al 22% en lo No Forestal dentro de un periodo de nueve años.

En ambos trabajos, se utilizaron imágenes del sensor Landsat: serie II TM 1993, Serie III ETM+ 2002, y se generaron a partir de la interpretación visual sobre espaciomapas impresos a una escala 1:250,000 y con una leyenda compatible para las posibles comparaciones (Red de Monitoreo de Políticas Públicas-CCMSS, 2006). Sin embargo, al momento de realizar el cruce de capas para obtener un mapa de tipo de cambio, se encontró que los elementos geográficos, que representan el mismo objeto desde un enfoque espacial, muestran irregularidades manifestándose como falsos cambios. Esto de acuerdo con Velázquez y Mas (2002), se puede deber a dos razones: conversiones entre categorías no factibles (cambios de bosques a selvas, por ejemplo) que son producto de las inconsistencias entre las bases de datos, o bien al uso de criterios diferentes para tipificar a cada una de las categorías (ejemplo Bosque Abierto, se puede categorizar como pastizal natural, dependiendo del intérprete).

En la información generada por Velasco y Cruz (op. cit. 2005), se utilizaron imágenes del sensor Landsat ETM+ del 2000 y del 2002, con métodos de clasificación supervisada. Los resultados que se obtuvieron presentan el 80% en el 2000 y el 67% en el 2002 de cubierta Forestal. Lo cual indica que la pérdida del 13% de cubierta Forestal, en el lapso de tres años. Esto indica un posible error de clasificación, pues aparte de que se encontraron falsos cambios, con serie II y III dentro del periodo de análisis de nueve años únicamente se perdió el 4% de cubierta Forestal.

Los resultados obtenidos a partir de imágenes del sensor SPOT, utilizando el método de interpretación híbrido, presenta que en el lapso se

un año se transformó el 1% de cubierta Forestal. Los cambios que se han logrado detectar en este trabajo, demuestran que es posible delimitar los avances a través del tiempo de los usos sobre la cubierta forestal utilizando imágenes del sensor SPOT en periodos de análisis cortos.

Utilizar un método de clasificación automatizada como primer paso para generar la capa de cubierta del suelo, dio como resultado un acercamiento a la separación y agrupamiento de las primeras categorías, sin llegar al detalle que más adelante se logró conseguir.

La interpretación visual asistida por el procesador en sus dos etapas (raster y vectorial), ayudó a eliminar efectos de sombra generados por las nubes, mismas que también se eliminaron, esto con ayuda de las imágenes multifecha. También se logró generar la información de la imagen SPOT 594/314 que no estaba disponible para el 2004, esto se pudo realizar por las condiciones del periodo del análisis y que la cubierta del área presenta en su mayoría actividades humanas. En la interpretación visual en pantalla, se pudieron re-delimitar fronteras entre categorías que presentaban alguna confusión. Finalmente, en el cruce de las capas para obtener el mapa de cambios, la presencia de errores de omisión o comisión es nula, esto se debe al uso de una cobertura base para después generar las siguientes fechas de análisis, en las cuales únicamente se van a detectar, por medio de la interpretación visual asistida por el procesador en formato vectorial, los cambios en las cubiertas del suelo, esto, ya sea por usos, incendios o eventos naturales extraordinarios (deslaves, inundaciones, etc).

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar Orihuela, A. (2005). La Chinantla, esquina pródiga de la biodiversidad mexicana. México Forestal 6. CONAFOR.

México.<http://www.mexicoforestal.gob.mx/nota.php?id=44>

Anson R. W. and Ormeling F. J. (2002). Basic Cartography for Students and Technicians. International Cartographic Association. Association Cartographique Internationale ICA. Volume 2, Second Edition.

Bocco G., López G., Mendoza C. 2001. Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo. El caso de la ciudad de Morelia. Instituto de Geografía, Boletín No. 45. UNAM. 56-76 pp.

Butler, A. 2007. Los Bosques Lluviosos: Riqueza en Riesgo-Bosques Lluviosos Amenazados. (en Línea). E. U. (citado 02-10-2007), formato htm disponible en Internet: <http://es.mongabay.com/rainforests/0804.htm>

Carranza J. y Paniagua I. (2003). Estimación de la tasa de transformación del hábitat en la reserva de la biosfera El Triunfo. Reporte final CONANP-FMCN.

Carranza J. y Paniagua I. (2007). "Protocolo para la evaluación del Uso del Suelo y Vegetación en Áreas Naturales Protegidas Federales de México" Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas CONANP.

Centro de Investigación Observación y Monitoreo Territorial Ambiental, Clasificación digital de imágenes de satélite, (en línea), Argentina, universidad católica de Santa Fe, 2004, 11/05/2006, (citado 18-09-2006), Formato htm., disponible en Internet: <http://www.ciomta.com.ar/nosup.html>

Centro Internacional de Agricultura Tropical, Conceptos Básicos de Teledetección, (en línea). Colombia, fecha de publicación desconocida, 11-09-2001, (citado 17-08-2006), Formato htm., disponible en Internet: <http://www.ciat.cgiar.org/dtmradar/resolucion.htm>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad CONABIO, 2000. *Estrategia nacional sobre biodiversidad de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Chuvieco, E. 2002. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. 3ª edición. Rialp, S.A. Madrid España. 568 p.

- Congalton, R. G. y K. Green. 1999. Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices. Lewis Publishers. Florida. 180 p.
- Dirzo, R. y M. C. García. 1992. Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a Neotropical area in Southeast Mexico. *Conservation Biology* 6: 84-90
- Franklin, S. E. 2001 *Remote Sensing For Sustainable Forest Management* Lewis Publishers, Florida, USA.
- Gobierno de Veracruz de Ignacio de la Llave. (en línea). Veracruz: Consejo de Desarrollo del Papaloapan, 1999. (citado 01-08-2006). Formato htm., disponible en Internet: <http://www.codepap.gob.mx/codepap/actividad/actividad.htm>
- Gobierno de Oaxaca. (en línea). Oaxaca. Oaxaca de cara a la Nación 2006, (citado el 10-08-2006). Formato htm., disponible en Internet: http://www.gobiernodeoaxaca.gob.mx/web/index.php?option=com_content&task=view&id=63&Itemid=122
- González, G. I. 2006. Tesis: “Una comparación de diferentes métodos de detección de cambio en imágenes de satélite para el monitoreo de la deforestación en la reserva de la biósfera Mariposa Monarca”. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.
- Guadarrma O., Fernando (en línea). Oaxaca: Proyecto de comercialización de productos forestales no maderables: factores de éxito y fracaso Palma camedora (*Chamaedorea* spp.). Informe comunitario, Methodus Consultora, S. C. 2003. (citado el 02-08-2006). Formato pdf., disponible en Internet: http://quin.unep-wcmc.org/forest/ntfp/cd/8_Community_reports/m_Fibra_de_pita_Arroyo_Blanco.pdf
- Hori, O. M. C. 1998. *Tesis: Variabilidad de las respuestas espectrales de acuerdo a los cambios fenológicos de la vegetación anticlinorio de Arteaga, Coahuila y Nuevo León, México*. ITESM Campus Monterrey.
- INEGI (en línea). México: Estadísticas a propósito del día mundial del Medio Ambiente. Datos Nacionales. 2003, (citado el 08-08-2006).). Formato pdf., disponible en Internet: <http://www.ine.gob.mx/download/medioambiente.pdf#search='regiones%20fisiograficas%20oaxaca'>
- INEGI (en línea) Información geográfica (citado el 03-04-2007): <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/normatividad/mde/menu.cfm?c=198>
- Instituto de Geografía UNAM, 2000. Informe del Inventario Nacional Forestal. Octubre. México. 266 pp.
- Irazoque, Enrique y H. Barbosa. Regiones Fisiograficas De Oaxaca. Manuscrito. Oaxaca, 1962. Fotocopia(rees-murphy) (private collection).

-
- Lira, Jorge 1995. *La Percepción remota: Nuestro ojos desde el espacio*. FCE México
- Lobo, M. M. 1973. Condiciones y limitaciones de la agricultura en la planificación del desarrollo regional. *Revista de Estudios Agrosociales* ISSN 0034-8155, N°. 84, 1973 , pags. 69-86
- Lu, D., P. Mausel, E. Brondizio y E. Moran. 2004. "Change detection techniques". *Int. Journal Remote Sensing*, Vol. 25, No. 12, 2365-2407.
- Mas, J. F. 2000. "Une revue des Méthodes et des Techniques de Télédétection du Changement" *Canadian Journal of Remote Sensing Journal Canadien de Télédétection*, Col. 26, N°. 4 P. p. 349-363
- Masera, O. R. 1996. *Deforestación y degradación forestal en México*. Documentos de trabajo núm. 19. GIRA A. C., Pátzcuaro, México. (Enero).
- Masera, O. R., M. J. Ordóñez y R. Dirzo 1997. *Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long-term scenarios*. *Climatic Change* 35: 265-295.
- Melesio, N. Marisol. (en línea). Legislación, justicia y pueblos indígenas. Ciudad Virtual de Antropología y Arqueología, 2002, (citado el 09-08-2006). Formato htm., disponible en Internet :
http://mx.wrs.yahoo.com/_ylt=A9htdb5DZNPgEaEAf0rD8Qt.;_ylu=X3oDMTEwb2pvcW45BGNvbG8DZQRsA1dTMQRwb3MDMTUEc2VjA3NyBHZ0aWQD/SIG=12vvturt/EXP=1155249603/**http%3a//www.naya.org.ar/congreso2002/ponencia/marisol_melesio_nolasco_2.htm
- Negreros, P., Castillo, L. 1999. *Silvicultura para el Manejo Sostenible de los Bosques Tropicales de los Ejidos Mayas de Quintana Roo, México*. (en línea). Research Mexico:silvicultura of Mahogany. (citado del 18-05-2007). Formato htm, disponible en Internet:http://www.forestry.iastate.edu/smaya/MEXSILV_spanish.htm
- Pala, V. y Pons, X. (1995): "Incorporation of relief in polynomial-based geometric corrections" *Photogrammetric Engineering and Remiting Sensing*, 61, pp. 935-934
- Paniagua, I. 2006 "Uso del suelo y vegetación actualizado de las Tres Ecoregiones Prioritarias con base en imágenes de satélite Spot" Informe Final La Chinantla. Subdirección de Análisis de Información Espacial CONANP-PNUD.
- PNUD, 2001 Proyecto del Gobierno de México y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) *Manejo Integrado de Ecosistemas en 3 Ecorregiones Prioritarias*. 102 pp
- Ramírez, M.I. y R. Zubieta. 2005. Análisis regional y comparación metodológica del cambio en la cubierta forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca.

- Reporte Técnico preparado para el Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca. México D.F. Septiembre 2005.
- Red de Monitoreo de Políticas Públicas – Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, 2006 (en línea). Nota Info 5. Inventarios Nacionales Forestales (citado el 03-06-2008) Formato htm, disponible en Internet:
http://www.ccmss.org.mx/modulos/biblioteca_consultar.php?folio=132
- Rogan, J. and D. M. Chen. 2004. Remote Sensing Technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change. *Progress in Planning* 61. pp 301-325
- Ruíz L. R. 2006. Tesis: “Evaluación multitemporal de los cambios en la cubierta vegetal y el uso del suelo en el sur de Quintana Roo, México”. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.
- Ruíz. M., y Gómez A., 1987. *Diagnóstico de los Sistemas de Inventario Forestal Utilizados en la Región Trópico-Húmeda de México*, In: Lund, H.G, Caballero-Deloya M., Villareal-Cantón R. Eds. *Land and Resource Evaluation for National Planning in the Tropics: Proceedings of the International Conference and Workshop; 1987; México; Gen. Tech. Report WO-39. Department of Agriculture, Forest Service; Washington, D.C. USA 524 pp.*
- Rullan, C. D., 2002. *Tesis: Estudio bitemporal de la vegetación en una zona afectada por incendios en el municipio de Santiago, N. L.*. ITESM Campus Monterrey.
- Secretaría de Marina-Armada de México. Estación de Recepción México de la constelación Spot.(ERMEXS). México. CENES 2005, producida por SEMAR bajo licencia SPOT IMAGE S.A. de C.V. http://www.semar.gob.mx/ermexs/index_new.htm
- SEMARNAT/ CONANP. 2003. *La Deforestación en 24 regiones PRODERS*. Agosto. México. 304 pp.
- SEMARNAP, 1997. *Ley Forestal*. México. 51 pp.
- SEMARNAT, Dirección General de Estadística e Informática Ambiental, *Vegetación y Uso de Suelo, Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2002*, (en línea), 2003, (citado el 18-08-2006). Formato pdf y shtml, disponible en Internet:
http://www.semarnat.gob.mx/estadisticas_2000/informe_2000/02_Vegetacion/2.1_Vegetacion/index.shtml
- SPOT Image
<http://www.spotimage.fr>
- Singh, A. 1989. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *Internacional Journal of Remote Sensing* 10, 6:989-1003

- Trejo, I. y R. Dirzo. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local análisis in Mexico. *Biological Conservation* 94: 133-134.
- Tund, F. y González-Iturbe J. A. 2004. Informe Técnico Final: Vegetación y Flora del Rancho El Zapotal, Municipio De Tizimín, Yucatán. Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán.
- Velasco, T. B.P. y Cruz R. H. M. 2005. Proyecto "Uso de Suelo y Vegetación Actualizado de las Tres Ecoregiones Prioritarias con Base en Imágenes de Satélite Landsat y Spot". Informe Final Subdirección de Análisis de Información Espacial. CONANP-PNUD.
- Velázquez, A., J.F. Mas, R. Mayorga-Saucedo, J L. Palacio, G. Bocco, G. Gómez-Rodríguez, L. Luna-Gonzáles, I. Trejo, J. López-García, M. Palma, A. Peralta y J. Prado-Molina 2001. *El Inventario Forestal Nacional 2000:Potencial de Uso y Alcances*. Ciencias, 64: 13-19.
- Velázquez, A., Mas, J.F., Díaz,-Gallegos, J.R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P.C., Castro, R., Fernández, T. Bocco, G., Palacio, J.L., 2002 *Patrones y tasas de cambio del uso del suelo en México*. Gaceta Ecológica INE 62, 21-37.
- Velázquez, A., Mas, J.F. y Palacio J.L, Análisis de cambio de uso del suelo mapas del análisis de cambio de uso de suelo, (en línea), México, Convenio INE-IGg UNAM, 2002, (citado el 21-08-2006). Formato hato, disponible en Internet: http://www.ine.gob.mx/dgoece/xid/dgioece/i_usv/#_Toc2514115
- Yu-Chuan, K. Hui-Chung, Y. Ke-Sheng C. Chia-Ming L. and Ming-Tung W. 2000. Identification of Landslides Induced by Chi-Chi Earthquake using Spot Multispectral Images. *GIS DEVELOPMENT* , ACRS 2000.
- INEGI. 1998. Diccionario de datos edafológicos
- INEGI. 2000. Diccionario de datos de uso de suelo y vegetación
- INEGI. 2005. Marco Geoestadístico Municipal-II. Censo 2005.
- MAPAS
- Cervantes-Zamora, Y., Cornejo-Olgín, S. L., Lucero-Márquez, R., Espinoza-Rodríguez, J. M., Miranda-Viquez, E. y Pineda-Velázquez, A, (1990). "Provincias Fisiográficas de México". Extraído de Clasificación de Regiones Naturales de México II, IV.10.2. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:4 000 000. Instituto de Geografía, UNAM. México.

García, E. – Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1998). "Climas (Clasificación de Koppen, modificado por García)". Escala 1:1 000 000. México.

Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1995). "Mapa edafológico". Escalas 1:250 000 y 1:1 000 000. México.

ANEXO

Tipos de Clima de La Chinantla de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García a escala 1:1, 000,000:

- ❖ (A)C(fm), semicálido húmedo con temperatura media anual mayor a 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Presenta lluvias entre verano e invierno y el mes más seco tiene más de 40 mm; con un porcentaje de lluvia invernal menor al 18% del total anual.
- ❖ (A)C(m)(f), semicálido con temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Con precipitación anual mayor a 500 mm, durante el mes más seco, la precipitación es mayor de 40 mm; presenta lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual.
- ❖ (A)C(m), semicálido húmedo, con temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Lluvias en verano, precipitación del mes más seco mayor de 40 mm; porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.
- ❖ (A)C(w2), semicálido subhúmedo, temperatura media anual mayor a 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C y con temperatura del mes más caliente superiores a los 22°C. Precipitación del mes mas seco menor a 40 mm; lluvias de

verano con índice P/T mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

- ❖ (A)C(wo), Semicálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes mas frío menor de 18°C, temperatura del mes mas caliente mayor de 22°C. Precipitación del mes mas seco menor de 40 mm; llluvias de verano con indice P/T menor de 43.2, y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.
- ❖ A(f), Cálido húmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes mas frío mayor de 18°C. Precipitación del mes más seco mayor de 40 mm; llluvias entre verano e invierno mayores al 18% anual.
- ❖ Am(f), Cálido húmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes mas frío mayor de 18°C. Precipitación del mes mas seco menor de 60 mm; llluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual.
- ❖ Am, Cálido húmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes mas frío mayor de 18°C. Precipitación del mes mas seco menor de 60 mm; llluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal del 5% al 10.2% del total anual.
- ❖ BSo(h')w, árido, cálido, temperatura media anual mayor de 22°C, temperatura del mes mas frío mayor de 18°C. Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.
- ❖ C(m), templado, húmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes mas frío entre -3°C y 18°C

y temperatura del mes mas caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes mas seco menor de 40 mm; llluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual

Los tipos de suelo correspondientes a La Chinantla, de acuerdo con el INEGI, se muestran a continuación:

- C. Acrisol. Suelos ácidos de climas húmedos, con un subsuelo arcilloso y pobre en general. Dentro de La Chinantla existen:
- Ah, acrisol húmico. Acrisol con alto contenido de materia orgánica en la capa superficial de suelo y con poco menos cantidad de materia orgánica en las capas de abajo.
 - Ao, acrisol órtico. Acrisol sin ninguna otra propiedad especial.
- D. Cambisoles. Suelos con un subsuelo muy diferente a simple vista en color y textura a la capa superficial. La capa superficial puede ser oscura, con más de 25 cm de espesor pero pobre en nutrientes, y en ocasiones no existe. Para La Chinantla se encuentran:
- Bc, cambisol crómico. Cambisol que cuando esta húmedo es de color pardo oscuro a rojo poco intenso.
 - Bd, cambisol distrito. Cambisol con subsuelo pobre o muy pobre en nutrientes.
 - Be, cambisol eutrítico. Cambisol con suelo rico o muy rico en nutrientes.
 - Bh, cambisol húmico. Cambisol con una capa superficial oscura, a veces gruesa, de regular a buen contenido de materia orgánica pero pobre en nutrientes.
- F. Rendzina. Suelos con menos de 50 cm de espesor que estan encima de rocas duras ricas en cal. La capa superficial es algo gruesa, oscura y rica en materia orgánica y nutrientes.
- J. Feozems. Suelo con una capa superficial oscura, algo gruesa, rica en materia orgánica y nutrientes. Para La Chinantla se encuentran dos tipos distintos de feozems:

- Hh, fozem hápílico. Fozem sin ninguna otra propiedad en especial.
- Hl, Fozem lúvico. Fozem con un subsuelo más rico en arcilla que la capa superficial.

K. Litosol. Suelos con menos de 10 cm de espesor.

K. Fluvisol. Suelo aluviales recientes, generados por la influencia de los ríos. Se presenta solo uno dentro de La Chinantla:

- Je, fluvisol éútrico. Fluvisol rico o muy rico en nutrientes o bases (Ca, Mg, K, NA), dentro de 50 cm de profundidad.

M. Luvisol. Suelo con arcilla acumulada en el subsuelo. Para La Chinantla se presentan:

- Lc, luvisol crómico. Luvisol con subsuelo color rojizo.
- Lo, luvisol órtico. Luvisol sin ninguna ora característica
- Lp, luvisol plíntico. Luvisol con subsuelo enriquecido por arcilla altamente intemperizada, y numerosas manchas rojas arreglados en forma laminar o reticular.
- Luvisol vertico. Luvisol con subsuelo agrietado (grietas de 1 cm o más de ancho) en alguna parte de la mayoría de los años.

S. Regosol. Suelo con características predominantes a la roca que les da origen. Dentro de la chinantla se encuentran:

- Rd, regosol dístrico. Regosol pobre o muy pobre en nutrientes o bases (Ca, Mg, K, Na), al menos en alguna parte entre 50 cm de profundidad.
- Re, regosol éútrico. Regosol rico o muy rico en nutrientes o bases (Ca, Mg, K, Na), dentro de 50 cm de profundidad.